



UFRJ

Natasha Pereira Rocha

**Análise Petrográfica da Formação Barreiras na região norte do
estado do Rio de Janeiro**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2010



UFRJ

Natasha Pereira Rocha

Análise Petrográfica da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo(a).

Orientador:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Co-orientadora:

M.Sc. Mirian Cristina Oliveira da Costa

Rio de Janeiro

Junho de 2010

Rocha, Natasha Pereira

Análise Petrográfica da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro / Natasha Pereira Rocha - Rio de Janeiro: UFRJ / Instituto de Geociências, 2010.

xiii, 45 p., il.

Orientador: Claudio Limeira Mello; Co-orientadora: Mirian Cristina Oliveira da Costa

Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia.

1. Formação Barreiras. 2. Petrografia sedimentar

Natasha Pereira Rocha

Análise Petrográfica da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo(a).

Orientador:
Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Co-orientadora:
M. Sc. Mirian Cristina Oliveira da Costa

Aprovada em: dia 15.06.2010

Por:

Orientador: Prof. Dr. Claudio Limeira Mello IGEO/UFRJ

Prof. Dr. Ismar de Souza Carvalho, IGEO/UFRJ

Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, MN/UFRJ

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Dedico o meu trabalho à minha família, pelo apoio em todos os momentos.

Agradecimentos

Aos meus pais, tia e família, que acompanharam de perto desde sempre, que se preocuparam, ligaram muitas vezes, conviveram comigo, subsidiaram meus estudos, me apoiaram e incentivaram sempre. Ao meu tio geólogo Iran que me apresentou ao “mundo da Geologia”.

Aos meus orientadores Claudio Limeira Mello e Mirian Cristina Oliveira da Costa por me auxiliarem nas minhas dúvidas, pela amizade, dedicação, segurança, responsabilidade que demonstraram em todos os momentos.

Aos meus amigos da faculdade: Anderson, Dandara, Deonel, Iviana, João Carlos, Manuela, Mariana, Paulo César, pela companhia em todos os momentos dessa caminhada: juntos nas matérias que deram mais trabalho, nos campos, nos trabalhos em grupo, nas últimas horas de estudo antes das provas. Ter eles por perto fez tudo ser ainda mais motivante. E às amigas: Bia, Kassia, Natalia e Nathália, a quem eu agradeço pela amizade ao longo desses anos.

Aos amigos da sala J2-023: André, Bruno, Mellissa, Pedro, Thaís, Thiago pela troca de conhecimento, ajuda, descontração, divertimento em vários dias dos últimos meses. Um agradecimento especial ao Lucas Balsini que me ajudou a entender e concluir uma parte desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Geologia: Leonardo Fonseca Borghi de Almeida e Rudolph Allard Johannes Trouw pela permissão do uso dos microscópios ópticos e do contador de pontos.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico junto a Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFRJ pela concessão de bolsa de pesquisa através do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC), e em parte a bolsa concedida por participação no projeto “Avaliação Hidrogeológica da Formação Emborê na porção emersa da Bacia sedimentar de Campos visando o descarte de água de produção de petróleo” ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Aos bons professores, que estimulavam a busca por conhecimento, a motivação pela profissão, que mostraram o quanto fascinante é a Geologia, que colocaram o dever de passar o conhecimento como principal objetivo, valendo todo o trabalho e dedicação nos trabalhos de campo.

Resumo

ROCHA, Natasha Pereira. Análise Petrográfica da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. 45 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Na região norte do estado do Rio de Janeiro, há uma extensa cobertura sedimentar neogênica relacionada à Formação Barreiras (Mioceno-Plioceno), composta por arenitos e lamitos, muito ferruginizados, relacionados a uma sedimentação por rios entrelaçados. O presente trabalho tem como objetivo a avaliação em microescala destes depósitos, visando entender a sua evolução diagenética. Foram selecionados dois afloramentos para o desenvolvimento deste estudo, na região entre Campos dos Goytacazes e Barra de Itabapoana: seções Córrego Sucupira e Barra de Itabapoana. Três fácies sedimentares foram caracterizadas: La (lamito argiloso maciço); Am (arenitos lamosos sem estrutura aparente); e Aca (arenitos com estratificação cruzada acanalada). A descrição de 15 lâminas petrográficas permitiu observar a presença de abundante fração argilosa nas fácies areníticas (atribuída à alteração de feldspatos e à infiltração mecânica de argilas), grau de cimentação variável e porosidade predominantemente secundária. Os principais tipos de cimento observados em todas as amostras são: óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita) e manganês; e cimento associado à recristalização da fração argilosa. A porosidade total varia entre 2 e 15%. Dentre os aspectos mais relevantes para a caracterização diagenética desses depósitos, destacam-se: infiltração mecânica de argilas em fase bem próxima à sedimentação; atividade de organismos (bioturbação); alteração de minerais primários e grãos de pseudomorfo, produzindo porosidade secundária (moldica, microporosidade); encolhimento do material argiloso após sucessivos ciclos de ressecção/expansão, gerando poros de encolhimento; e remobilização dos elementos mais móveis (ferro e manganês associado a MOA), que passaram a preencher parte dos poros secundários. O grau de compactação fraco e incipiente foi constatado pelos “grãos flutuantes”. Os aspectos descritos são atribuídos predominantemente ao que ocorre durante a eodiagênese, fase de soterramento raso, sendo processado no próprio ambiente deposicional. Caracteres como *coatings*, poros planares, pedotúbulos, a mobilidade de ferro e manganês, presença de nódulos e intensa infiltração mecânica de argilas evidenciam a atuação importante da pedogênese, em intervalos de quiescência deposicional.

Palavras-chave: Formação Barreiras; petrografia; diagênese

Abstract

ROCHA, Natasha Pereira. Petrographic analysis of Barreiras Formation in the northern region of Rio de Janeiro State. Rio de Janeiro, 2010. 45 p. Final course monography (Geology). Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro.

In the northern region of Rio de Janeiro State there is an extensive neogenic sedimentary coverage related to Barreiras Formation (Miocene-Pliocene), composed of sandstones and mudstones, very enriched in iron, related to braided rivers deposits. The present study aims at a microscale evaluation of these deposits to understand their diagenetic evolution. Two outcrops were selected for the development of this study in the region between Campos dos Goytacazes and Barra de Itabapoana counties: Córrego Sucupira and Barra de Itabapoana sections. Three sedimentary facies were characterized: La (massive mudstones), Am (muddy sandstone with no apparent structure) and Aca (sandstone with trough cross-bedding). The description of 15 petrographic thin sections allowed to observe the abundant presence of clay fractions in the sandy facies (attributed to feldspar weathering and to mechanical infiltration of clays), variable degree of cementation and dominant secondary porosity. The main types of cement observed in all samples are iron oxides and hydroxides (hematite and goethite) and manganese, and cement related to the recrystallization of the clay material. The total porosity ranges between 2 and 15%. Among the most relevant aspects related to the diagenetic characterization of these deposits stand mechanical infiltration of clays very close to sedimentation; activity of organisms (bioturbation); alteration of primary minerals and pseudomorphic grains, producing secondary porosity (moldic, microporosity); shrinkage of the clay material after successive cycles of contraction/expansion, generating shrinkage pores and remobilization of the most movable elements (iron and manganese associated with amorphous organic matter), which began to fill part of the secondary pores. The low and incipient degree of compaction found was testified by floating grains. The aspects described are attributable dominantly to eodiagenesis, shallow burial phase, being processed in its own depositional environment. Characters such as coatings, planar pores, pedotubes, mobility of iron and manganese, presence of nodules and intense mechanical infiltration of clays, stress the important role of pedogenesis at intervals of depositional quiescence.

Key Words: Barreiras Formation; petrography; diagenesis

Lista de figuras

Figura 1: Mapa de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro, com a localização dos pontos estudados (seções Barra de Itabapoana e Córrego Sucupira (Costa, 2010).....	3
Figura 2: Mapa tectônico do sudeste brasileiro mostrando as principais unidades do setor central do Sistema Orogênico Mantiqueira (modificado de Heilbron <i>et al.</i> , 2004).	5
Figura 3: Áreas de ocorrências da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro, segundo Morais <i>et al.</i> (2006).	7
Figura 4: Diagrama estratigráfico da Bacia de Campos elaborado por Winter <i>et al.</i> (2007), destacando-se os depósitos sedimentares da Formação Barreiras presentes na porção <i>onshore</i> dessa bacia.	8
Figura 5: Parte do mapa geológico do estado do Rio de Janeiro (Silva & Cunha, 2001), destacando as principais unidades cenozóicas presentes na área de estudo.	10
Figura 6: Fotomosaico interpretado da Seção Córrego Sucupira, com a localização do perfil faciológico (P) realizado.	17
Figura 7: Perfil faciológico elaborado na Seção Córrego Sucupira, com a localização das amostras coletadas para análises granulométricas (g) e/ou petrográficas (p).	18
Figura 8: Fotomosaico interpretado da Seção Barra de Itabapoana, com a localização do perfil faciológico (P) realizado.	20
Figura 9: Perfil estratigráfico elaborado na seção Barra de Itabapoana, com a representação das amostras coletadas para análises granulométricas (g) e/ou petrográficas (p).	21
Figura 10: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies <i>La</i> da Seção Córrego Sucupira.	22
Figura 11: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies <i>La</i> da Seção Barra de Itabapoana.	23
Figura 12: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies <i>Am</i> e <i>Aca</i> da Seção Córrego Sucupira.	24
Figura 13: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies <i>Am</i> e <i>Aca</i> da Seção Barra de Itabapoana.	25
Figura 14: Distribuição no diagrama triangular de classificação textural (modelo Shepard, 1954) das amostras das fácies <i>La</i> , <i>Am</i> e <i>Aca</i> analisadas na Seção Córrego Sucupira e na Seção Barra de Itabapoana.	26

Lista de tabelas

Tabela 1: Fácies sedimentares identificadas.	15
Tabela 2: Classificação textural das fácies identificadas.	25

Lista de estampas

Estampa A – Fácies *La*

Fotomicrografia 1- Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Destaca-se uma feição de preenchimento de poro por argila infiltrada (indicada pelas setas) e a porosidade por encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.....30

Fotomicrografia 2 - Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Detalhe da feição de preenchimento (indicada pelas setas) apresentada na Fotomicrografia 1. Cimento de hematita pode ser observado na borda de alguns poros (cor avermelhada), sendo que alguns desses espaços ocorrem preenchidos por manganês e MOA (cores escuras). A precipitação de óxidos de ferro e manganês ocorreu após a infiltração e encolhimento (com o desenvolvimento de poros planares) da argila. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.30

Fotomicrografia 3 - Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Ao centro da foto, há evidências da infiltração mecânica de argila, sendo ressaltada pela cimentação por hematita. Na parte superior da foto, há registro de microporosidade móldica em grão de pseudomorfo (ressaltada pelo corante azul). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x. 30

Fotomicrografia 4 - Amostra A12 da Seção Córrego Sucupira. Podem ser observados poros planares interconectados com forte cimentação por óxidos, que retratam o desenvolvimento de microagregados revestidos ou limitados por regiões com maior oferta de oxigênio. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.....30

Fotomicrografia 5 - Amostra A5/6 da Seção Barra de Itabapoana. Variação granulométrica relacionada à atividade de organismos (porção com maior amplitude de variação granulométrica - silte a areia muito grossa, mais pobremente selecionado do que o material que foi originalmente depositado - silte a areia muito fina). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x..... 30

Fotomicrografia 6 - Amostra A9 da Seção Barra de Itabapoana. Há uma clara heterogeneidade do material, relacionada a atividade de organismos, que ocorre diferentemente tingido por óxidos. Em destaque pela seta, se observa *coatings* de hematita em torno de grãos de quartzo. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.....30

Estampa B – Fácies *Am*

Fotomicrografia 7 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. A cimentação pela associação manganês e MOA ocorre habitualmente revestindo parcialmente a completamente os poros secundários, criados pelo encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.35

Fotomicrografia 8 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade intergranular, caracterizando porções bem restritas de porosidade mais elevada, relacionada a atividade de organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.35

Fotomicrografia 9 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. Pode ser observada a cimentação por óxido de ferro, impregnando a argila preferencialmente nas bordas de alguns poros, e por óxido de manganês, preenchendo alguns dos poros criados pelo encolhimento da argila. Pode se ressaltar ainda a presença de microporosidade móldica derivada da alteração preferencial de grãos de pseudomorfos (instáveis), sendo essa porosidade destacada pelo corante azul. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.35

Fotomicrografia 10 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Distribuição dos óxidos e hidróxidos de ferro (compostos por diferentes combinações de proporções de hematita e goethita), ocorrendo impregnando a argila

com diversos graus de cimentação, podendo impregnar preferencialmente a argila presente nas bordas de alguns poros. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.35

Fotomicrografia 11 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Observa-se microporosidade móldica relacionada à alteração de um grão de pseudomorfo (P). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.....35

Fotomicrografia 12 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Há porosidade por fratura em grãos de quartzo. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 10x.35

Fotomicrografia 13 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Distribuição heterogênea do tingimento por cimento (dominantemente de goethita), podendo representar um material com algum grau de retrabalhamento por atividade de organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.35

Fotomicrografia 14 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Ao centro da foto, se observa um poro de encolhimento, possivelmente gerado posteriormente à cimentação por não ocorrer igualmente impregnado. A porção argilosa está impregnada preferencialmente por hematita e, mais próximo à margem do poro, há maior concentração de hematita. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.35

Estampa C – Fácies Aca

Fotomicrografia 15 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade móldica derivada da alteração de grão de muscovita. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Fotomicrografia 16 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade móldica derivada da alteração da muscovita, sendo visíveis pontos de impregnação por óxido de manganês (e MOA) posteriores à criação da porosidade. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Fotomicrografia 17- Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade por fratura em grãos quartzosos e microporosidade móldica de pseudomorfos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.39

Fotomicrografia 18 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Intenso grau de cimentação por hematita, preenchendo poros de encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Fotomicrografia 19 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Poros encontram-se parcialmente preenchidos, podendo evidenciar uma fase de encolhimento da argila concomitante e/ou posterior à cimentação. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.39

Fotomicrografia 20 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Porção intensamente cimentada por hematita e fração argilosa próxima às margens dos poros tingida por goethita, sendo essa fase de cimentação posterior ao encolhimento dos poros. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Fotomicrografia 21 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Em porções restritas há uma porosidade bem expressiva, intergranular, possivelmente associada ao retrabalhamento por organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Fotomicrografia 22 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. O cimento possui composição tipicamente de hematita associada a goethita, e ocorre tingindo a argila infiltrada. Há óxido de manganês (com MOA) preenchendo os poros, em fase posterior à criação de alguns poros de encolhimento observados na foto. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.39

Sumário

Agradecimentos.....	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas.....	x
Lista de estampas	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. ÁREA DE ESTUDO	3
3.1 Localização	3
3.2 Geologia Regional.....	4
3.2.1 Embasamento pré-cambriano	4
3.2.2 Formação Barreiras	6
3.2.3 Depósitos quaternários	9
4. METODOLOGIA	11
4.1 Atividades de campo:	11
4.2 Atividades de laboratório:.....	11
4.2.1 Análises granulométricas	11
4.2.2 Análises petrográficas	12
5. RESULTADOS	15
5.1 Seções geológicas	15
5.1.1 Seção Córrego Sucupira.....	16
5.1.2 Seção Barra de Itabapoana	19
5.2 Análises granulométricas	22
5.3 Análises petrográficas.....	27
5.3.1 Fácies La.....	27
5.3.2 Fácies Am	32
5.3.3 Fácies Aca.....	37
6. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A Formação Barreiras, unidade geológica de idade Mioceno-Plioceno, é constituída por depósitos sedimentares areníticos e lamíticos, com cores avermelhadas e arroxeadas, intensamente ferruginizados, tipicamente associados à morfologia de tabuleiros costeiros presentes no litoral norte, nordeste e leste do país. Apesar de objeto de estudo de vários autores, principalmente na região nordeste, ainda não se tem uma caracterização detalhada e amplamente aceita destes depósitos.

No estado do Rio de Janeiro, os depósitos dessa unidade estão distribuídos na parte *onshore* da Bacia de Campos, sendo sua maior expressão na região da planície costeira do rio Paraíba do Sul (Silva & Cunha, 2001). De acordo com Morais *et al.* (2006), os depósitos da Formação Barreiras nesta área são de origem continental, relacionados a uma sedimentação por rios entrelaçados.

Estes depósitos representam um dos principais aquíferos na região norte-fluminense (Barreto *et al.*, 2001), localizado na borda oeste da Bacia de Campos, ocupando uma área de cerca de 1.630 km², sobrepondo-se ao embasamento cristalino. Segundo estes autores, trata-se de um aquífero livre, pouco produtivo, tendo vazões máximas da ordem de 2m³/h e capacidade específica média de 0,33m³/h/m, produtor de águas tipicamente ferruginosas.

Costa (2010) avaliou os aspectos permoporosos do aquífero Barreiras na região da Bacia de Campos, com base na caracterização das propriedades petrográficas e hidráulicas das principais litofácies sedimentares que compõem os depósitos da Formação Barreiras. Desta forma, propôs a definição de hidrofácies para o entendimento do fluxo subterrâneo e a avaliação da qualidade deste aquífero sedimentar. De acordo com as conclusões obtidas, a similaridade das características permoporosas das fácies *Aca* e *Am* e a relativa distinção com as da fácies *La* possibilitaram a definição de duas hidrofácies. A hidrofácies 1 compreende as camadas reservatório da Formação Barreiras, sendo composta pelas fácies areníticas (fácies *Aca* e *Am*); a hidrofácies 2 compreende as camadas que retardam o fluxo hídrico, funcionando como barreiras hidráulicas, sendo composta pela fácies lutítica (fácies *La*). Os valores de condutividade hidráulica obtidos para a hidrofácies arenítica (hidrofácies 1) foram inferiores, em até duas ordens de grandeza, aos valores comuns em depósitos fluviais entrelaçados típicos (Costa, 2010). A menor permeabilidade identificada pode ser relacionada à alta concentração de argila originada

por alterações pós-deposicionais, como bioturbação, pedogênese e eodiagênese (Costa, 2010), acarretando na baixa permeabilidade do aquífero Barreiras. Os planos das falhas normais e as estruturas primárias, quando preservadas, atuam como condutos preferenciais para escoamento do fluxo no aquífero, caracterizando estas zonas como potenciais áreas de recarga, local ou até regional, e, também, como áreas com maior vulnerabilidade à contaminação por substâncias poluidoras (Costa, 2010).

O aquífero Barreiras comporta-se como um aquífero pobre na hidrofácies arenítica e como um aquitardo a praticamente impermeável na hidrofácies lutítica, diferindo dos reservatórios de alta qualidade dos típicos depósitos de rios entrelaçados (Costa, 2010).

Os depósitos que constituem o principal objeto desse estudo ocorrem em estágio avançado de alteração, atribuída a diversas modificações pós-deposicionais processadas quase imediatamente após a sedimentação, fornecendo à maioria das camadas um aspecto maciço relativo à obliteração das estruturas primárias. Observa-se excessiva ferruginização dos sedimentos, evidências de bioturbação, excesso de fração fina que caracterizam a importante atuação de processos superficiais.

A caracterização petrográfica desses sedimentos, além de poder auxiliar na compreensão dos processos específicos a que esses depósitos foram submetidos a partir de sua sedimentação, pode contribuir para o melhor entendimento das propriedades permo-porosas diagnosticadas no estudo hidrogeológico realizado por Costa (2010) nesses depósitos. O desenvolvimento do presente estudo visa colaborar, também, com o conhecimento acerca dos depósitos neogênicos na região norte do Rio de Janeiro.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi a realização de análises petrográficas de depósitos aflorantes da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro, como base para a caracterização das modificações pós-deposicionais a que esses depósitos foram submetidos.

Busca-se contribuir com novas informações sobre esta importante unidade sedimentar cenozóica e, particularmente, para os estudos hidrogeológicos em desenvolvimento na região, fornecendo dados para a melhor avaliação das propriedades permo-porosas destes depósitos.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de estudo (Figura 1) está localizada na região norte do estado do Rio de Janeiro, próximo à divisa com o estado do Espírito Santo, na região entre Campos dos Goytacazes e Barra de Itabapoana, a norte do rio Paraíba do Sul. Os dois afloramentos selecionados para o desenvolvimento deste estudo correspondem à seção Córrego Sucupira, situada nas coordenadas 21°28'25,49"S e 41°20'7,31"W, Datum SAD 69, localizada na rodovia BR-101, km 31-Norte, entre Campos dos Goytacazes e Morro do Coco; e seção Barra de Itabapoana, situada nas coordenadas 21°17'10,45"S e 41°59'55,68"W, Datum SAD 69, na divisa com o estado do Espírito Santo.

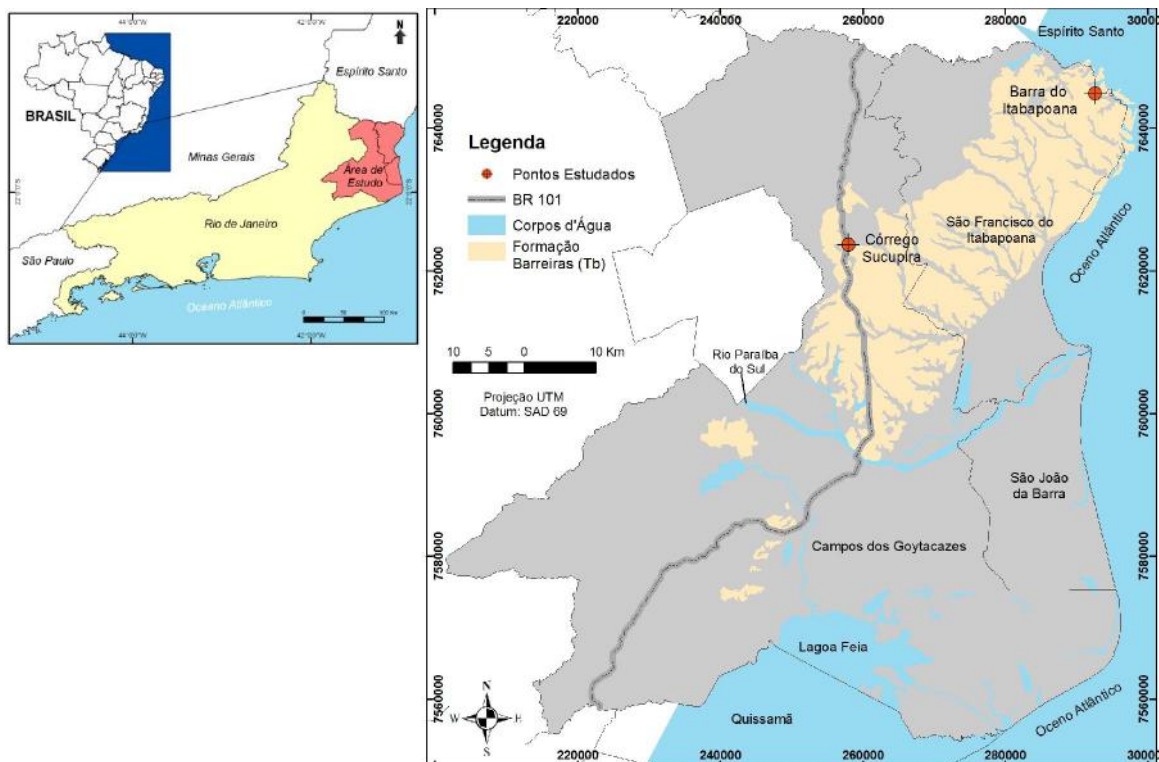


Figura 1: Mapa de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro, com a localização dos pontos estudados (seções Barra de Itabapoana e Córrego Sucupira (Costa, 2010).

3.2 Geologia Regional

3.2.1 Embasamento pré-cambriano

O estado do Rio de Janeiro está localizado sobre terrenos relacionados à Província Mantiqueira, que se distribui paralela a costa do sudeste e sul do Brasil, delineando uma faixa de direção NE-SW, com mais de 3000 km de comprimento, estendida desde o paralelo 15°S até o Uruguai.

Na Província Mantiqueira, a Orogênese Brasileira (amplo período orogénico neoproterozóico-cambriano, essencialmente diacrônico, que engloba o conjunto de colagens responsáveis pela estruturação do embasamento da Plataforma Sul-Americana, segundo Brito-Neves *et al.*, 1999 *apud* Heilbron *et al.*, 2004) inclui processos estritamente acrescionários (edificação do arco-de-ilhas São Gabriel no Rio Grande do Sul), colisões continente-continente (estruturação principal do Orógeno Ribeira e sua Zona de Interferência com o Orógeno Brasília) e tem seu término com o colapso extensional de partes dos orógenos (como exemplo: Orógeno Araçuaí). Esses processos se desenvolveram principalmente de 880 Ma a 480 Ma.

A seguinte subdivisão estratigráfica geral pode ser aplicada à Província Mantiqueira como um todo (Heilbron *et al.*, 2004):

- a) embasamento arqueano e/ou paleoproterozóico mais velho que 1,7 Ga;
- b) sequências metassedimentares depositadas em bacias intracontinentais paleoproterozóicas a mesoproterozóicas;
- c) sequências metassedimentares e metavulcanossedimentares neoproterozóicas (sequências de margem passiva, sequências relacionadas ao fechamento de oceanos (bacias ante-arco e retro-arco) e ao estágio de colisão continental (bacias molássicas e de antepaís);
- d) granitóides neoproterozóicos pré-colisionais contemporâneos à subducção;
- e) granitóides neoproterozóicos sincolisionais;
- f) coberturas neoproterozóicas-cambrianas associadas a bacias tardi-orogênicas e magmatismo pós-colisional;

Segundo Heilbron *et al.* (2004), a Província Mantiqueira pode ser subdividida em três segmentos geográficos (Figura 2): segmento setentrional (Orógeno Araçuaí), segmento central (Orógeno Ribeira, Zona de Interferência entre os Orógenos Brasília e

Ribeira, os terrenos Apiaí, São Roque e Embu) – Figura 2; e o segmento meridional (Orógenos Dom Feliciano e São Gabriel).

A compartimentação tectônica da parte central do Orógeno Ribeira engloba os seguintes terrenos (Figura 2): Terreno Ocidental, Klippe Paraíba do Sul, Terreno Oriental ou Microplaca Serra do Mar, Terreno Cabo Frio (Heilbron *et al.*, 2004). A área do presente estudo está inserida no Terreno Oriental.

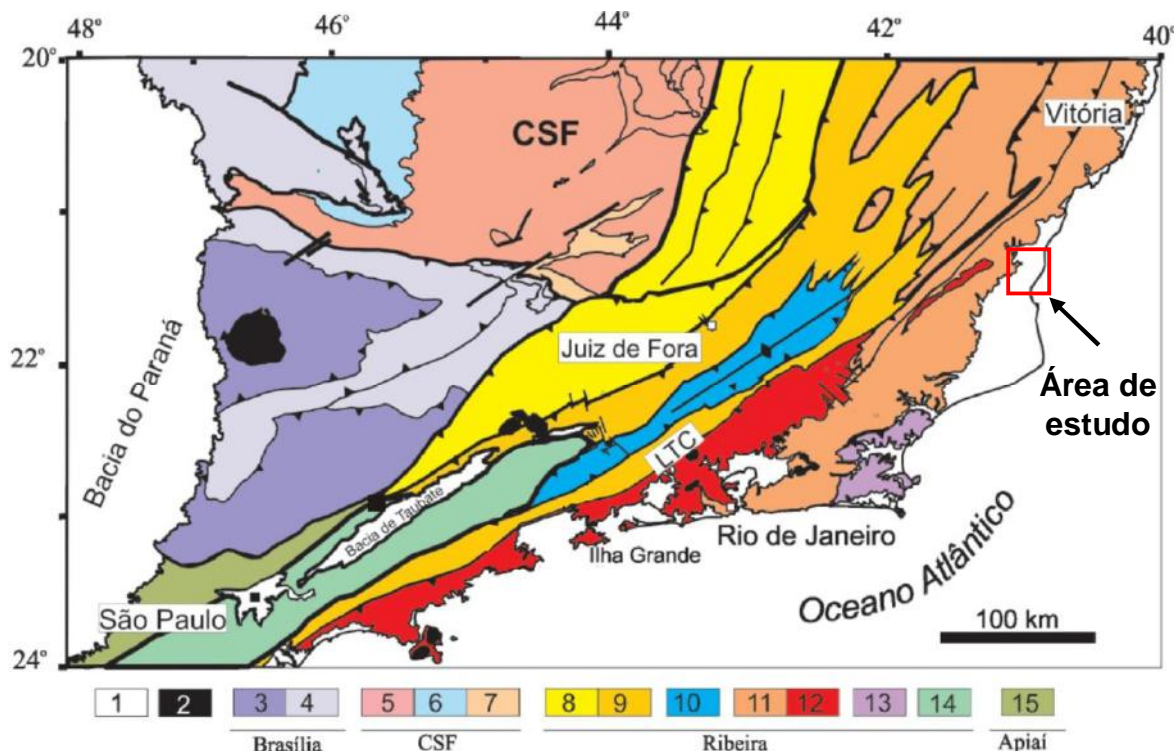


Figura 2: Mapa tectônico do sudeste brasileiro mostrando as principais unidades do setor central do Sistema Orogênico Mantiqueira (modificado de Heilbron *et al.*, 2004). Legenda: 1) Bacia do Paraná e sedimentos cenozóicos; 2) rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília: 3) nappes inferiores, 4) nappes superiores; Cráton do São Francisco (CSF): 5) embasamento, 6) Supergrupo São Francisco, 7) rochas metassedimentares do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira: 8 e 9) Terreno Ocidental (Domínios Andrelândia e Juiz de Fora), 10) Terreno Paraíba do Sul, 11) Terreno Oriental, incluindo 12) arco magmático Rio Negro, 13) Terreno Cabo Frio, 14) Terreno Embu; 15) Orógeno Apiaí (Terreno São Roque). LTC – Limite Tectônico Central da Faixa Ribeira.

Segundo Heilbron *et al.* (2004) para o Terreno Oriental, região com colisão principal desenvolvida no período de 605-560 Ma, é considerada a existência de três principais domínios estruturais:

a) Domínio Cambuci: as rochas que constituem seu embasamento, de idade mais antiga que 1,8 Ga, estão presentes no Complexo Serra da Bolívia-São Primo, caracterizado pela presença de hornblenda-biotita tonalitos, charnokitos, dioritos, leucogranitos e granitos porfiríticos. Tais rochas são consideradas por Tupinambá *et al.* (2007) como

derivadas de arco magmático devido à assinatura geoquímica e idade de cristalização (U-Pb) de zircão de 596 Ma. As rochas mais comuns desse domínio, constituindo sua cobertura sedimentar pós-1,8 Ga, são biotita xisto/gnaisses migmatíticos com lentes de olivina mármore dolomítico, de rochas calcissilicáticas e de rochas básicas metamorфizadas em granada diopsídio-granulitos.

b) Domínio Costeiro: neste domínio, não há registros de rochas do embasamento mais antigas que 1,7 Ga. Ocorrem sucessões metassedimentares em fácies anfibolito alto a granulito, invadidas por diversas gerações de rochas granitóides, como os ortognaisses do Complexo Rio Negro (pré-colisão/arco magmático), os leucogranitos/leucocharnockitos e granitóides a charnockitóides porfiróides das unidades Bela Joana, Desengano e Angelim, além de granitos tardi a pós-tectônicos (Tupinambá *et al.*, 2007).

c) Domínio Italva: é constituído por biotita gnaisses bandados, mármore calcíticos, anfibolitos e anfibólitos xisto, em fácies anfibolito. A idade U-Pb de 840 Ma, obtida em anfibolitos intercalados nos mármore, é a melhor estimativa de idade de deposição dessa sucessão (Heilbron & Machado, 2003).

3.2.2 Formação Barreiras

Morais *et al.* (2006) descreveram a ocorrência da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro, na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, sendo sua maior expressão na região da planície costeira do rio Paraíba do Sul (Figura 3). Segundo estes autores, os depósitos referentes a região Norte Fluminense apresentam associações faciológicas com origem continental atribuída a um ambiente fluvial entrelaçado arenoso distal. Os mesmos autores sugerem que os elementos disponíveis para correlacionar os depósitos estudados e as unidades estratigráficas cenozóicas melhor estabelecidas no estado do Rio de Janeiro tornam possível que os sedimentos relacionados à Formação Barreiras no Rio de Janeiro tenham se acumulado dentro do contexto do tectonismo cenozóico que levou à formação de pequenas bacias sedimentares tafrogênicas que constituem o Rifte Continental do Sudeste do Brasil.

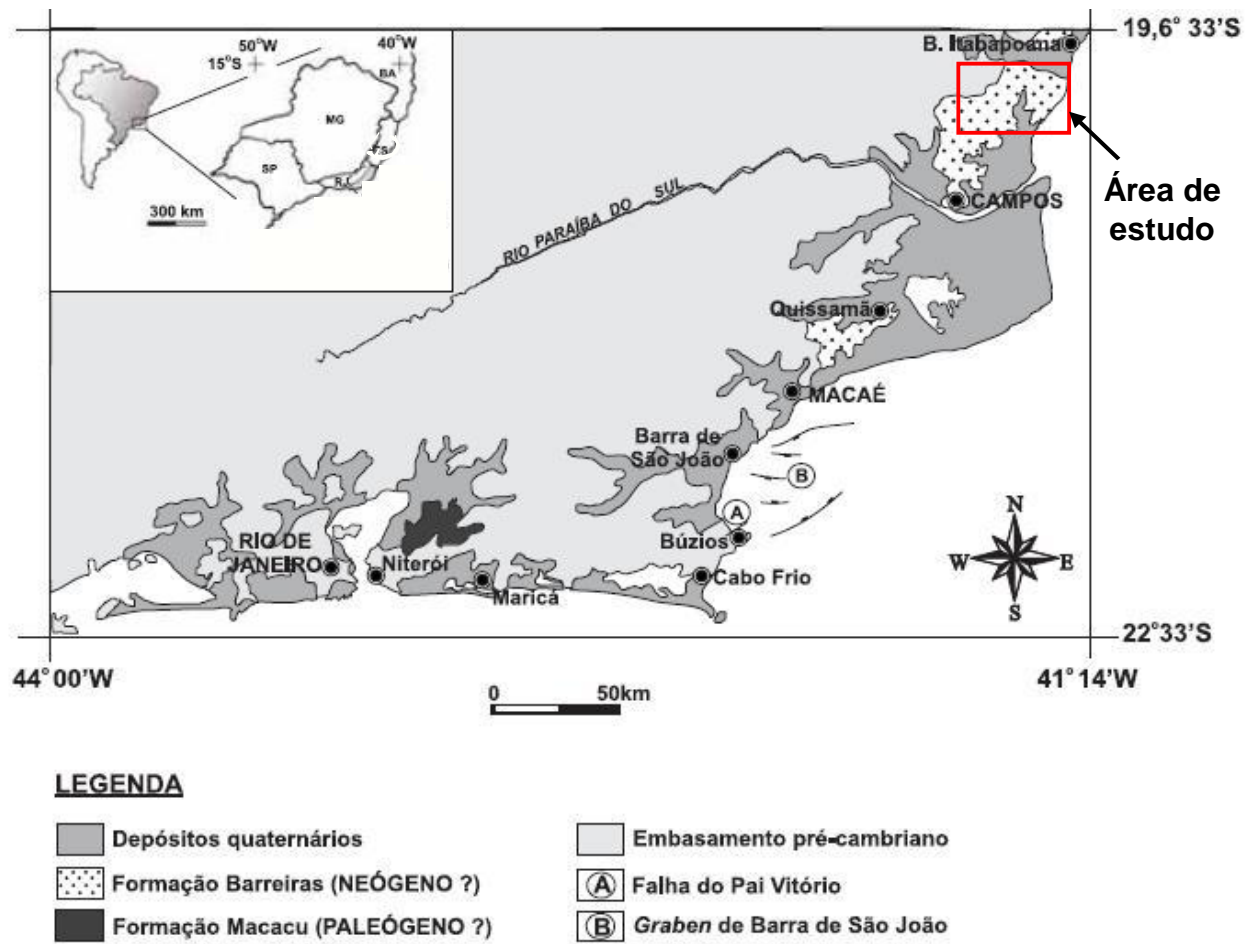


Figura 3: Áreas de ocorrências da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro, segundo *Morais et al.* (2006).

Winter *et al.* (2007), que elaboraram o diagrama estratigráfico da Bacia de Campos (Figura 4), atribuíram à Formação Barreiras idade miocênica-pleiocênica, caracterizando que tais sedimentos foram acumulados na borda ocidental da bacia, hoje aflorante, sendo tipicamente depósitos conglomeráticos, arenosos e lamosos, de cores variegadas, ricos em concreções ferruginosas, depositados a partir de processos trativos de alta energia (ambiente fluvial entrelaçado) e por fluxos gravitacionais relacionados a leques aluviais.

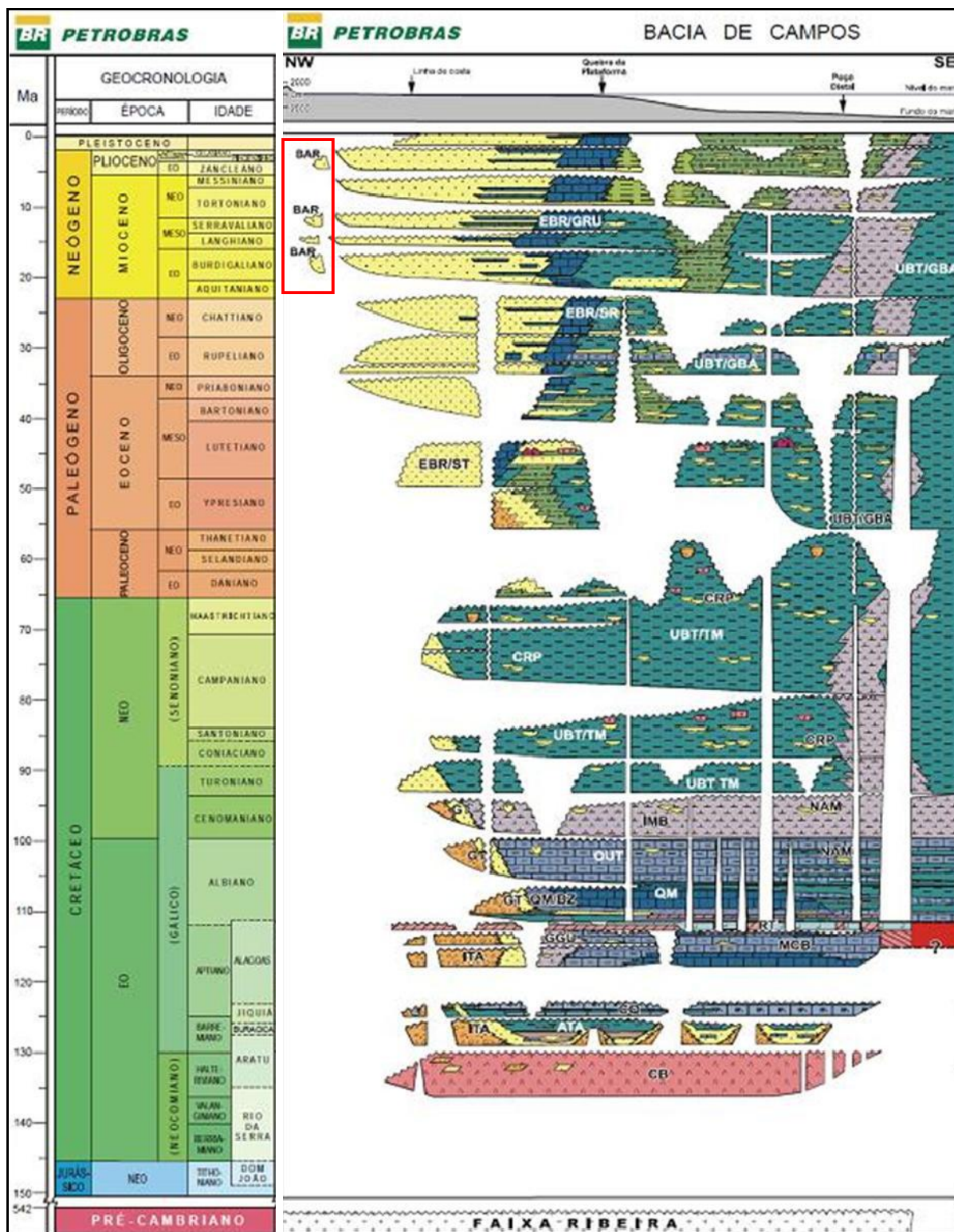


Figura 4: Diagrama estratigráfico da Bacia de Campos elaborado por Winter *et al.* (2007), destacando-se os depósitos sedimentares da Formação Barreiras presentes na porção *onshore* dessa bacia.

3.2.3 Depósitos quaternários

Segundo Martin *et al.* (1997), para a área de estudo podem ser descritos depósitos quaternários dos seguintes tipos: terraços arenosos marinhos pleistocênicos e holocênicos, depósitos lagunares e depósitos continentais (Figura 5).

Os **terraços marinhos pleistocênicos** correspondem a sedimentos arenosos superficialmente brancos e comumente acastanhados em profundidade, sendo a cor mais escura atribuída à presença de matéria orgânica. Segundo Martin *et al.* (1997), a origem marinha rasa é atestada pela existência de tubos fossilizados de *Callichirus*, artrópodes marinhos típicos de zona de maré baixa, e pela presença de estruturas sedimentares como estratificação cruzada de baixo ângulo e espinha de peixe. Na planície situada na desembocadura do rio Paraíba do Sul, esses depósitos são bem desenvolvidos, sobretudo na porção sul, entre Barra do Furado e Macaé.

Os **terraços marinhos holocênicos**, que são em geral mais baixos, estão situados externamente aos pleistocênicos, frequentemente separados desses por zonas baixas e pantanosas. Podem conter grandes quantidades de conchas, não são impregnados por ácidos húmicos e exibem alinhamentos de cristas praias mais contínuos e pouco espaçados. A ocorrência desses depósitos é praticamente contínua ao longo da porção do litoral estudado, sendo pouco desenvolvidos nas porções convexas ou retilíneas e atingindo vários quilômetros de largura próximos a desembocaduras fluviais, como a correspondente ao rio Paraíba do Sul (Martin *et al.*, 1997).

Os **depósitos lagunares holocênicos** ocorrem nas zonas baixas, separando terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos ou nos cursos inferiores de grandes vales não preenchidos por sedimentos aluviais, ocorrendo sedimentos sílticos e/ou areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares. Foram desenvolvidas anteriormente ao nível máximo de 5.100 anos A.P., através da invasão do mar. Após essa invasão, as lagunas tenderam a ressecção, ao mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas (Martin *et al.*, 1997).

Silva & Cunha (2001) descrevem os **depósitos continentais** como colúvio- aluvionares, com deposição iniciada provavelmente no Terciário, tendo continuidade até os dias atuais. As fácies proximais envolvem cascalhos, areias e lamas resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das

vertentes. Na porção mais distal há sedimentos arenosos e lamosos, eventualmente com cascalheiras, localizados em regiões de baixa declividade e ao longo das drenagens. Apresentam-se geralmente bem estratificados, refletindo deposição a partir de fluxos torrenciais canalizados e não canalizados. Podem ocorrer interdigitados com depósitos deltaicos, lagunares ou praias marinhos. Correspondem, na área de estudo, à planície fluvial do rio Paraíba do Sul e aos sedimentos lacustrinos retrabalhados da margem norte da Lagoa Feia.

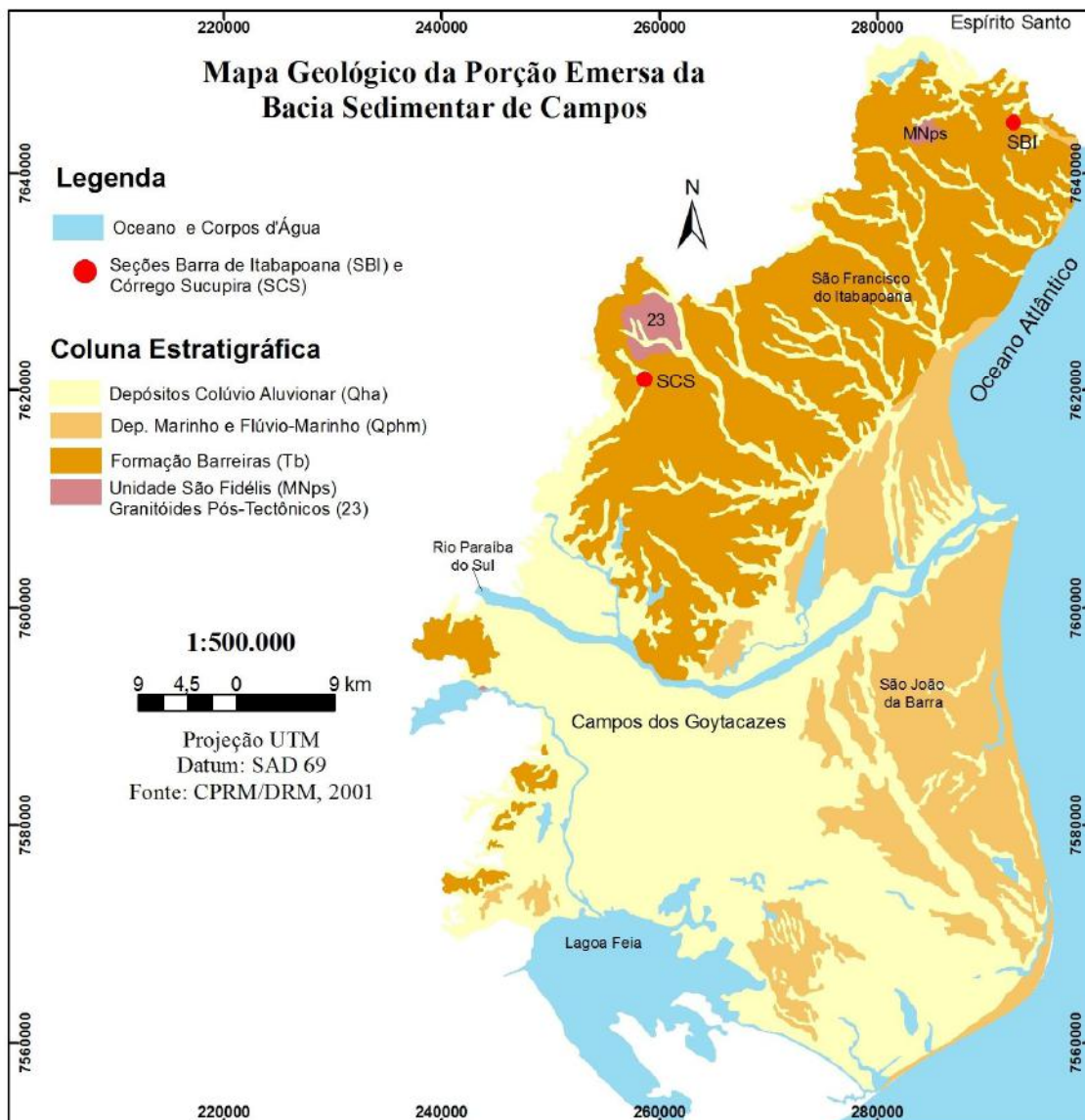


Figura 5: Parte do mapa geológico do estado do Rio de Janeiro (Silva & Cunha, 2001), destacando as principais unidades cenozóicas presentes na área de estudo.

4. METODOLOGIA

4.1 Atividades de campo:

Durante as atividades de campo foram selecionados dois afloramentos para realização desse estudo, ambos anteriormente investigados por Moraes (2001):

- seção Córrego Sucupira, localizada na rodovia BR-101, km 31-Norte entre Campos dos Goytacazes e Morro do Coco; e
- seção Barra de Itabapoana, próximo à cidade de Barra de Itabapoana (RJ), na divisa com o estado do Espírito Santo.

Nesses locais foram realizadas as seguintes atividades:

- interpretação de fotomosaicos, para a reconstituição da seção aflorante;
- confecção de perfis sedimentológicos na escala 1: 40;
- caracterização de fácies sedimentares;
- coleta de amostras deformadas para a realização de análises granulométricas (13 amostras na seção Córrego Sucupira e de 10 amostras na seção Barra de Itabapoana);
- coleta de amostras indeformadas para a descrição de lâminas petrográficas (6 amostras na seção Córrego Sucupira e 9 amostras na seção Barra de Itabapoana).

4.2 Atividades de laboratório:

4.2.1 Análises granulométricas

As 23 amostras coletadas para as análises granulométricas foram tratadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia (IGEO/UFRJ), segundo técnica descrita por Folk (1980).

Inicialmente, as amostras foram abertas e dispostas em tabuleiros metálicos para que secassem à temperatura ambiente, por um período mínimo de 24 horas. Em seguida, elas foram destorroadas, utilizando-se um cilindro de madeira, e quarteadas até uma fração em que se obtivesse uma massa de aproximadamente 30g.

O material foi despejado em uma peneira de abertura de malha de 0,062mm, apoiada em um funil montado sobre uma proveta graduada de 1000ml, para separação, por via úmida, com água destilada, das frações arenosa e lamosa.

A fração arenosa foi, então, levada à estufa, a temperatura de 100°C, até que toda a água se evaporasse. Em seguida, essa fração foi despejada em um conjunto de peneiras

organizadas verticalmente em aberturas de malha que decresciam do topo para a base: 4,00mm, 2,83mm, 2,00mm, 1,41mm, 1,00mm, 0,71mm, 0,50mm, 0,35mm, 0,25mm, 0,177mm, 0,125mm, 0,088mm e 0,062mm. Esse conjunto de peneiras foi submetido ao agitador mecânico durante 15 minutos. Posteriormente, pesou-se o quanto de areia ficou retido em cada uma dessas peneiras.

Ao material fino que passou pela peneira com abertura de malha de 0,062mm na via úmida, coletado na proveta, correspondendo então às frações de silte e argila, foi adicionada solução de 20mL de substância defloculante (hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio), deixando reagir por alguns minutos, para, em seguida, realizar a etapa de pipetagem, em 6 coletas de 20mL cada, de acordo com a temperatura, com base em tabela própria.

O material coletado na etapa de pipetagem foi despejado em *beckers*, que foram anteriormente pesados. O conjunto de *beckers* de todas as amostras foi levado à estufa até a completa evaporação da água. Após isso, puderam ser pesados novamente. O peso do material fino de cada *becker* foi obtido subtraindo-se o peso da cápsula vazia que foi pesada previamente.

4.2.2 Análises petrográficas

As 15 amostras indeformadas coletadas para as análises petrográficas foram impregnadas com resina antes de serem confeccionadas as lâminas delgadas, adicionando-se, nesta fase, corante de coloração azul para facilitar a identificação dos espaços porosos da rocha. Foram descritas utilizando-se microscópios petrográficos da marca *Olympus*, modelo CX31-P e da marca *Carl ZEISS* modelo AXIOSKOP 40, com os quais foi possível também a obtenção de imagens digitais.

Na descrição das lâminas petrográficas priorizou-se a caracterização dos seguintes aspectos: parâmetros texturais, como granulometria, seleção, arredondamento, circularidade, características da trama (tipos de contatos entre grãos, tipo de material que a sustenta, orientação dos clastos, grau de compactação); classificação dos tipos de matriz e cimento; verificação da presença de grãos substituídos ou dissolvidos; determinação dos tipos de porosidade; e composição mineralógica. A avaliação desses diversos itens teve como objetivo importante a inferência da natureza dos eventos diagenéticos e a tentativa de obter algum ordenamento desses.

A granulometria das amostras foi definida a partir do reconhecimento visual dos tamanhos dos grãos, baseando-se nos limites de Wentworth (1922): grânulos, de 4,00 mm a

2,00 mm; areia muito grossa, de 2,00 mm a 1,00 mm; areia grossa de 1,0 mm a 0,50 mm; areia média, de 0,50 mm a 0,25 mm; areia fina, de 0,25 mm a 0,125 mm; areia muito fina, de 0,125 mm a 0,062 mm; silte/argila, abaixo de 0,062 mm.

O grau de seleção foi caracterizado segundo Beard & Weyl (1973); o arredondamento foi classificado de acordo com Powers (1953); e o grau de circularidade foi definido pela escala de Rittenhouse & Gordon (1943).

Para a denominação dos tipos de contatos entre os grãos (flutuante, pontual, longo, côncavo-convexo ou suturado) consultou-se Boggs (1992). O tipo de matriz ou cimento presente foi avaliado segundo Dickinson (1970), que relata a dificuldade na distinção entre cimentos constituídos por grãos finos silicosos e a matriz autigênica. Foi então descrita a existência dos possíveis seguintes tipos constituintes intersticiais dos arenitos: protomatriz (matriz primária deposicional), ortomatriz (recristalização da protomatriz), epimatriz (alteração diagenética dos grãos do arcabouço, com posterior infiltração do material argiloso no espaço poroso), pseudomatriz (deformação ou desagregação dos grãos do arcabouço) e cimento de filossilicatos (variedade de ortomatriz gerada por recristalização de argilas).

Segundo Boggs (1992), há evidências de que grande parte da matriz dos arenitos pode ser autigênica, derivando de processos diagenéticos por precipitação química de argilas nos espaços porosos ou por alteração de grãos instáveis para argilas. Ainda de acordo com este autor, os minerais autigênicos são aqueles formados tanto pouco após a deposição, quando o sedimento ainda está inconsolidado, ou durante o soterramento e diagênese. Podem ocorrer como cimento, ou cristalizar nos espaços porosos como minerais que não atuam como cimento, ou se formar substituindo minerais detríticos originais ou fragmentos de rocha. As composições mais comuns são sílica autigênica, feldspatos, micas e minerais de argila, carbonatos, óxidos de ferro (limonita, goethita e hematita) e manganês.

Para a classificação dos tipos de porosidade foram considerados os tipos de poros de acordo com o momento de sua gênese (primários, com origem deposicional; ou secundários, produzidos pós-deposicionalmente) e com a textura específica do poro, podendo haver grãos parcialmente dissolvidos, bordas de grãos corroídos, grãos fraturados, poros intramatriz, poros agigantados e/ou alongados, empacotamento heterogêneo e encolhimento da matriz (Schmidt & McDonald, 1979; Shanmugam, 1984). O termo microporosidade, ou seja, poros com abertura menor do que 0,5 microns (Pittman, 1979 *apud* Shanmugam, 1984), foi usado tanto para poros secundários (por dissolução de grãos) como primários (em grãos tão finos como argilas).

A composição original dos arenitos geralmente é dada por quartzo, feldspato e fragmentos de rocha, os três principais constituintes das rochas sedimentares, usados para a classificação dos arenitos (Folk, 1980). A técnica de contagem de pontos é precisa apenas para arenitos que possuem grãos não dissolvidos e com fraco desenvolvimento da diagênese. Em arenitos com parte significativa dos grãos totalmente dissolvidos é difícil estabelecer a composição dos grãos que constituíram a rocha primariamente, levando a determinação da composição diagenética dos arenitos (Shanmugam, 1984). Este é o caso das rochas do presente estudo, onde não foi possível uma correta classificação composicional devido ao estágio de alteração da rocha, admitindo-se boa parte da composição como diagenética e não mais deposicional.

As análises quantitativas realizadas basearam-se na técnica de contagem de pontos (300 pontos), a partir da metodologia de Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1984), onde foram discernidos componentes detríticos (quartzo monocristalino ou policristalino, podendo ter extinção reta ou ondulante, e minerais acessórios) e aspectos texturais, como matriz, cimento filossilicático, cimento composto por óxidos e hidróxidos de ferro e manganês (associado a MOA), porosidade (por encolhimento do material argiloso, por fratura em grãos quartzosos, móldica e intergranular).

5. RESULTADOS

5.1 Seções geológicas

Os depósitos estudados nos dois afloramentos foram classificados faciologicamente (Tabela 1) com base nos seguintes aspectos: litologia (a partir da granulometria predominante em cada camada), cor e presença de estruturas sedimentares, considerando ainda a possível obliteração de algumas estruturas por modificações pós-deposicionais, como a bioturbação observada em alguns estratos. A partir dessas descrições, foram interpretados os processos associados à deposição de cada fácies definida. Posteriormente foi feita comparação com a classificação efetuada por Morais (2001).

Tabela 1: Fácies sedimentares identificadas.

Código	Diagnose	Interpretação	Amostras Seção Córrego Sucupira	Amostras Seção Barra de Itabapoana	Morais (2001)
<i>La</i>	Lamito argiloso, maciço	Decantação de finos de inundação	A1, A3, A9, A12	A5, A6, A9	<i>La1</i>
<i>Am</i>	Arenito lamoso, sem estrutura aparente	Depósitos por fluxos trativos unidirecionais, com modificações pós-deposicionais	A2, A6, A7, A8, A11, A13	A1, A2, A3, A4, A8, A10	<i>Am</i>
<i>Aca</i>	Arenito com estratificação cruzada acanalada, com níveis conglomeráticos	Depósitos por fluxos trativos unidirecionais, com a migração de megaondulações de crista sinuosa, em regime de fluxo inferior	A4, A5, A10	A7	<i>Aca</i>

5.1.1 Seção Córrego Sucupira

O afloramento estudado no km 31-Norte da rodovia BR-101, entre Campos dos Goytacazes e Morro do Coco - Seção Córrego Sucupira (figuras 6 e 7), exhibe depósitos areníticos em corpos de geometria lenticular estendida, com espessuras métricas, e extensão de dezenas de metros, com pronunciadas feições de escavação e níveis conglomeráticos na base. Os corpos areníticos são intercalados por camadas lamíticas lenticulares a tabulares, de espessuras decimétricas a métricas e extensão de dezenas de metros. Quanto à presença de estruturas sedimentares primárias, algumas camadas areníticas apresentam estratificações cruzadas acanaladas, mas em geral não apresentam estruturas aparentes, o que pode ser relacionado a modificações pós-deposicionais. Os depósitos lamíticos também não apresentam estruturas. Algumas camadas areníticas e lamíticas apresentam aspectos de bioturbação.

Os arenitos são compostos principalmente por quartzo, com presença de material argiloso esbranquiçado associado a grãos de feldspatos caulinizados. A seleção das camadas areníticas varia de pobremente a muito pobremente selecionadas. O arredondamento de seus grãos varia de angulosos a arredondados, sendo em geral subangulosos. A coloração é tipicamente mosqueada, possuindo tons arroxeados, avermelhados, alaranjados, amarelados e esbranquiçados, estando as camadas, em geral, intensamente ferruginizadas.

Foram observadas, ainda, neste afloramento falhas normais com rejeitos decimétricos, segundo a orientação NE-SW.

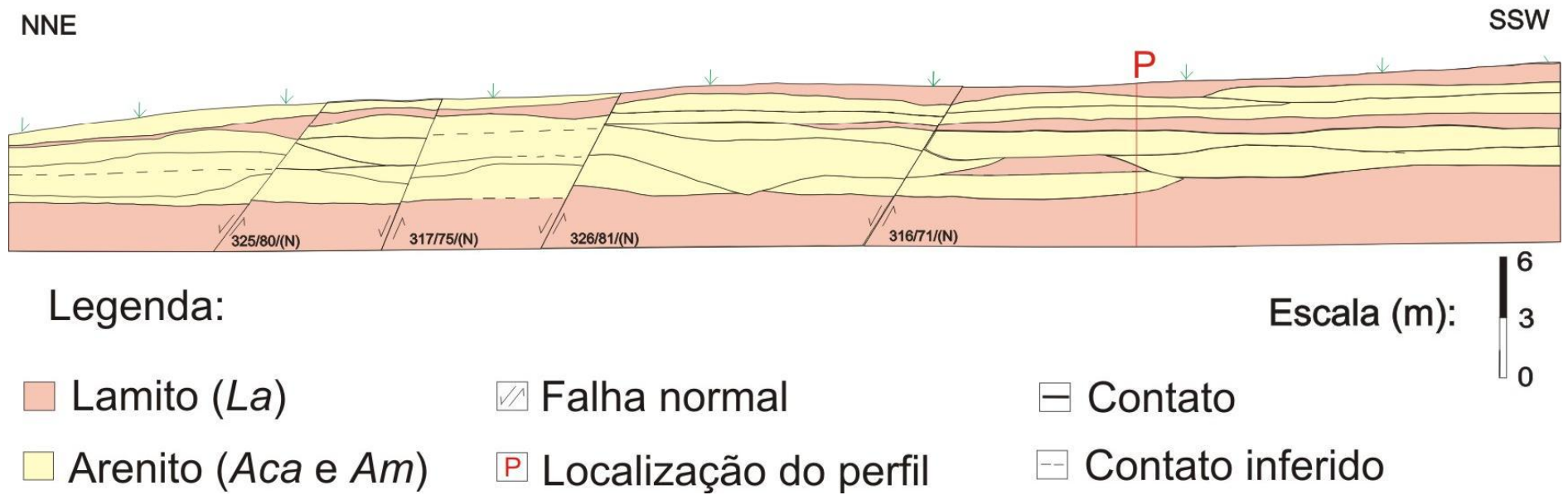


Figura 6: Fotomosaico interpretado da Seção Córrego Sucupira, com a localização do perfil faciológico realizado (P).

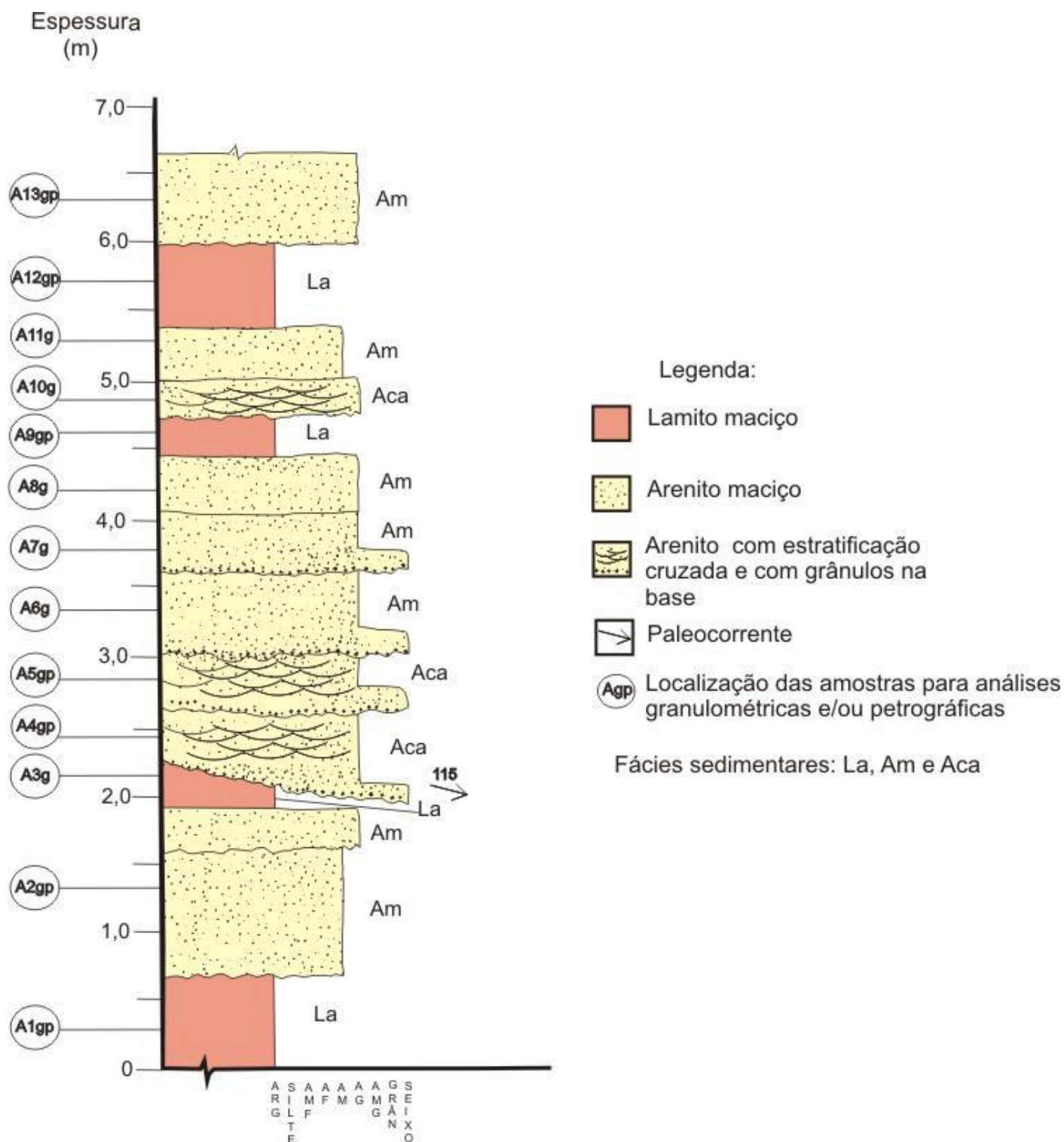
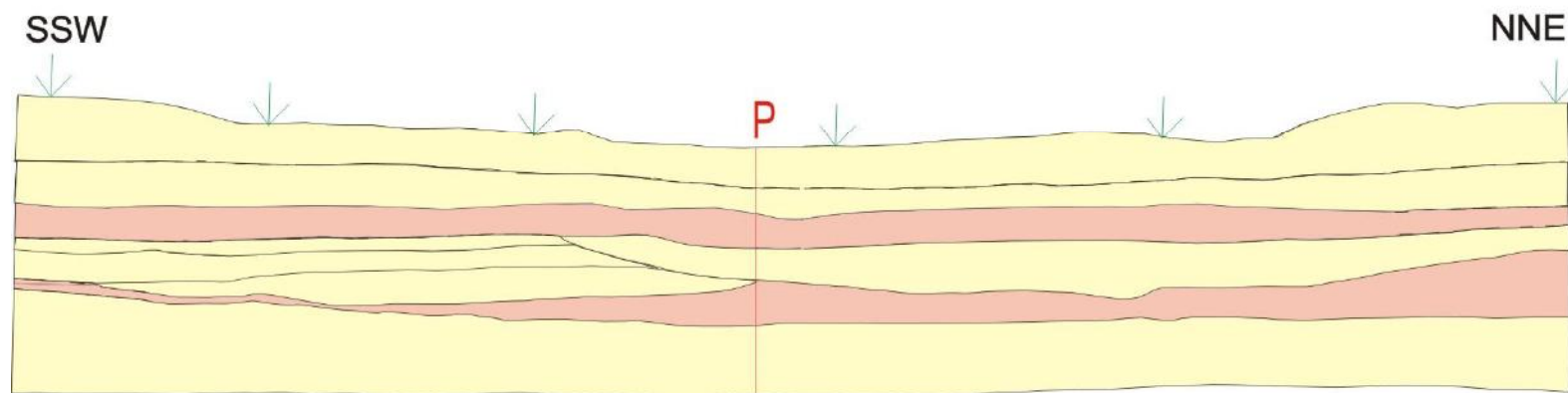


Figura 7: Perfil faciológico elaborado na Seção Córrego Sucupira, com a localização das amostras coletadas para análises granulométricas (g) e/ou petrográficas (p).

5.1.2 Seção Barra de Itabapoana

O afloramento estudado nas proximidades da cidade de Barra de Itabapoana (RJ), na divisa com o estado do Espírito Santo - Seção Barra de Itabapoana (figuras 8 e 9), também é caracterizado por depósitos areníticos em corpos de geometria lenticular estendida a tabular, com espessuras métricas, e extensão de dezenas de metros. Estes corpos areníticos truncam-se entre si, com pronunciadas feições de escavação e níveis conglomeráticos na base. Intercalam-se a estas camadas areníticas, estratos lamíticos lenticulares a tabulares, de espessuras decimétricas a métricas, e extensão decamétrica.

Os arenitos são constituídos basicamente por grãos de quartzo e de feldspatos caulinizados, com seleção variando de moderada a pobre. O arredondamento dos grãos varia de muito angulosos a subarredondados, sendo em geral subangulosos a subarredondados. Possuem coloração mosqueada, representada por tons avermelhados, alaranjados, arroxeados, amarelados e esbranquiçados. Suas camadas ocorrem com níveis variados de ferruginização e de bioturbação. Em geral, não foram identificadas estruturas primárias, sendo que possivelmente tenha havido obliteração das estruturas por modificações pós-deposicionais.



Legenda:



Figura 8: Fotomosaico interpretado da Seção Barra de Itabapoana, com a localização do perfil faciológico realizado (P).

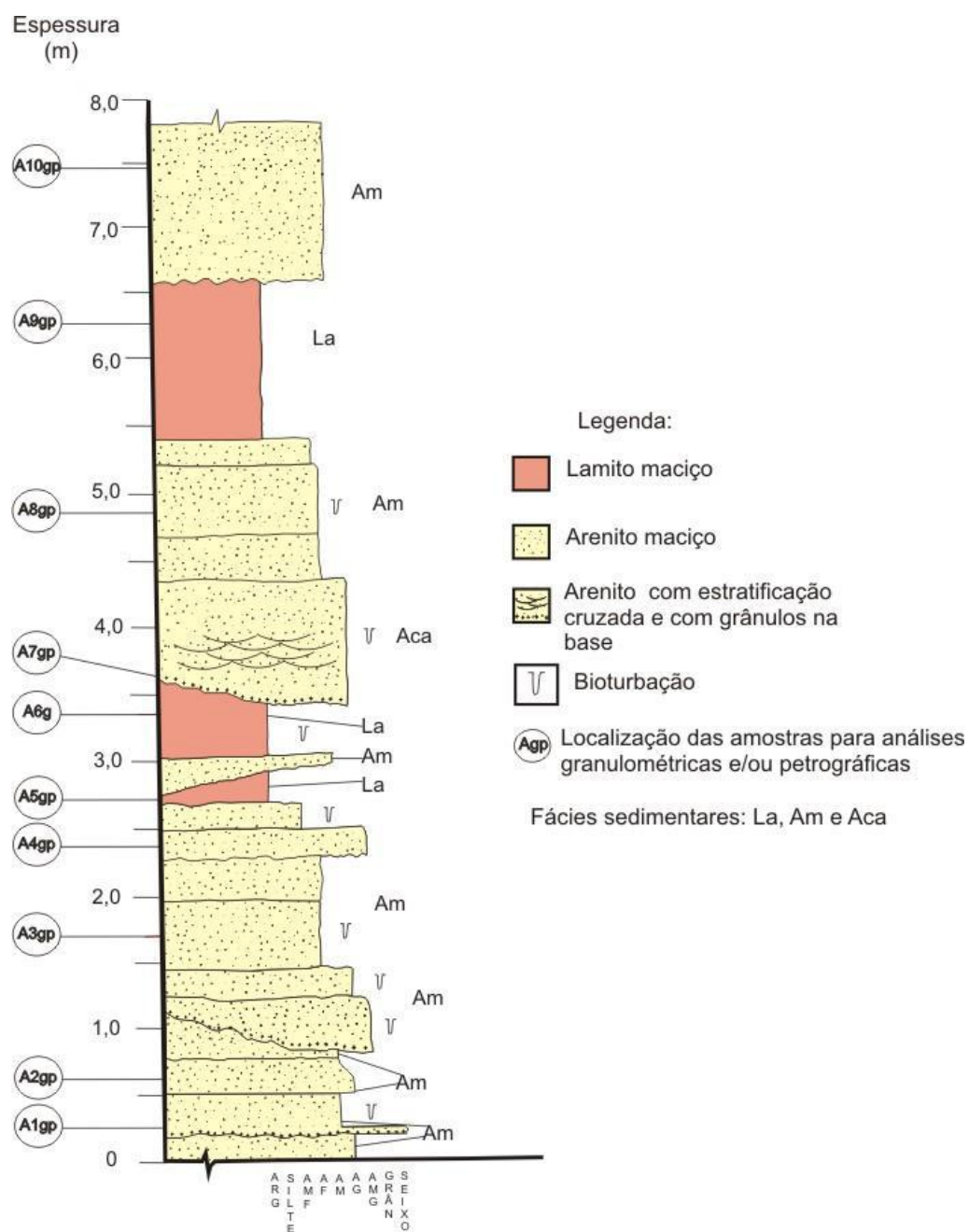


Figura 9: Perfil estratigráfico elaborado na seção Barra de Itabapoana, com a representação das amostras coletadas para análises granulométricas (g) e/ou petrográficas (p).

5.2 Análises granulométricas

As análises granulométricas das amostras da fácies *La* (figuras 10 e 11) mostram uma distribuição de grãos desde argila a areia fina, predominando a fração argilosa (varia de 43% a 70% do total da amostra) e apresentando menores proporções dos demais tamanhos granulométricos.

Na Seção Córrego Sucupira, há concentrações de argila de 43% a 70% (em média 49,5%) e na Seção Barra de Itabapoana esse teor varia de 52 a 70% (constitui uma média de 61%). Pode-se observar que algumas amostras da fácies *La* (como A3 e A12 da Seção Córrego Sucupira) exibem um intervalo de fração arenosa com distribuição aproximadamente normal, sugerindo alguma atuação de processos trativos, em conjunto com os processos suspensivos mais representativos para a deposição desses estratos. Nas demais amostras, em que não se destaca nenhum padrão claro de distribuição das areias, admite-se que a fração arenosa foi introduzida por modificações pós-deposicionais, que seriam responsáveis por uma distribuição com caráter mais aleatório da fração arenosa.

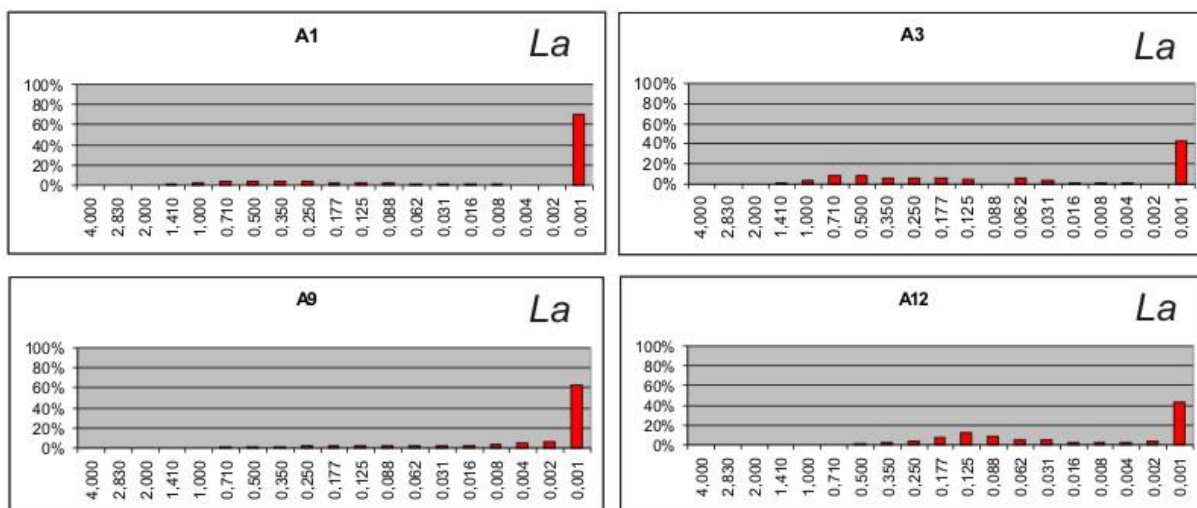


Figura 10: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies *La* da Seção Córrego Sucupira.

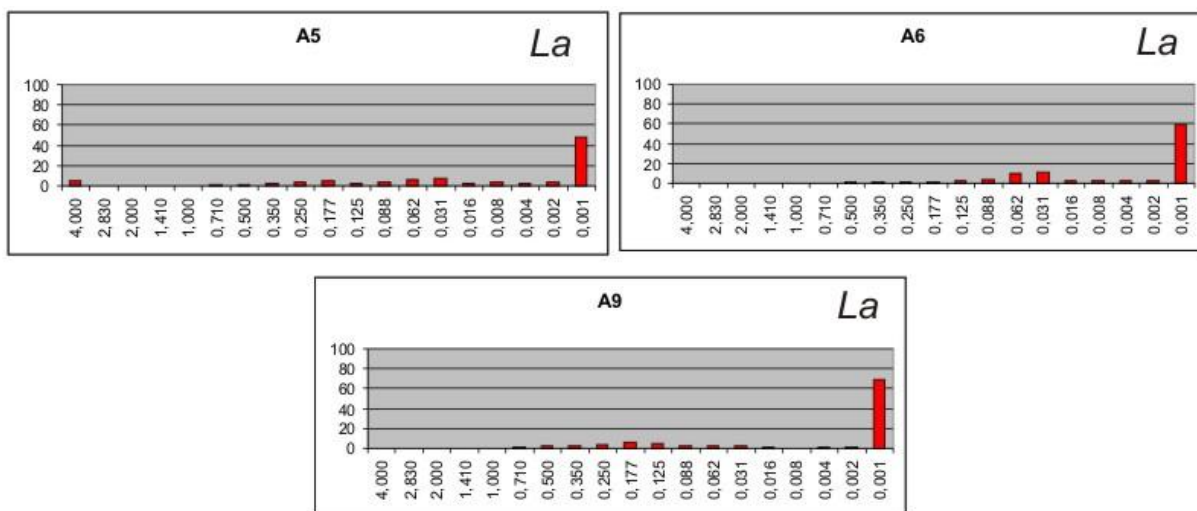


Figura 11: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies *La* da Seção Barra de Itabapoana.

As amostras das fácies areníticas (*Aca* e *Am*) possuem uma distribuição de tamanho de grãos mais restrita (moderadamente selecionadas), sendo justificado por serem derivadas de fluxos trativos, podendo-se destacar o excesso da fração argilosa (18-41%), atribuído a atuação de processos pós-deposicionais (figuras 12 e 13).

Analisando comparativamente as amostras entre as duas seções, pode-se verificar que tanto nas fácies areníticas como na fácies lamítica, os depósitos da seção Barra de Itabapoana apresentam sempre maiores teores de argila e granulometria em geral mais fina, sugerindo então, que tal seção represente um local mais distal no paleossistema fluvial.

As amostras da fácies *Aca* nas duas seções estudadas apresentam teores médios de argila superiores aos das amostras da fácies *Am*. Na Seção Córrego Sucupira, as amostras pertencentes à fácies *Am* possuem 17% a 36% de argila, em média 27,6%, enquanto as amostras relativas à fácies *Aca* possuem 26% a 39% de argila, registrando uma média de 31,6%. Na Seção Barra de Itabapoana, as amostras da fácies *Am* possuem teor de argila variando de 24 a 42%, tendo uma média de 31% de argila, e a única camada da fácies *Aca* apresenta 36% de argila. Isto pode ser atribuído a maior porosidade primária intergranular característica de depósitos da fácies *Aca*, o que tornaria essas camadas mais permeáveis e logo mais sujeitas a infiltração de argilas. Os depósitos da fácies *Am* teriam sua permeabilidade reduzida pela atuação de processos modificadores pouco após a deposição.

Na Tabela 2 e na Figura 14, é possível observar a classificação textural das fácies identificadas, com as respectivas concentrações de argila. A classificação foi obtida a partir do agrupamento dos resultados granulométricos das amostras de cada fácies. Podem ser observados dois conjuntos: as amostras relacionadas à fácies *La*, em ambos os afloramentos,

estão associadas a argilas e argilas arenosas; já as amostras das fácies *Aca* e *Am* são classificadas como areias argilosas e apenas uma amostra corresponde a um arenito.

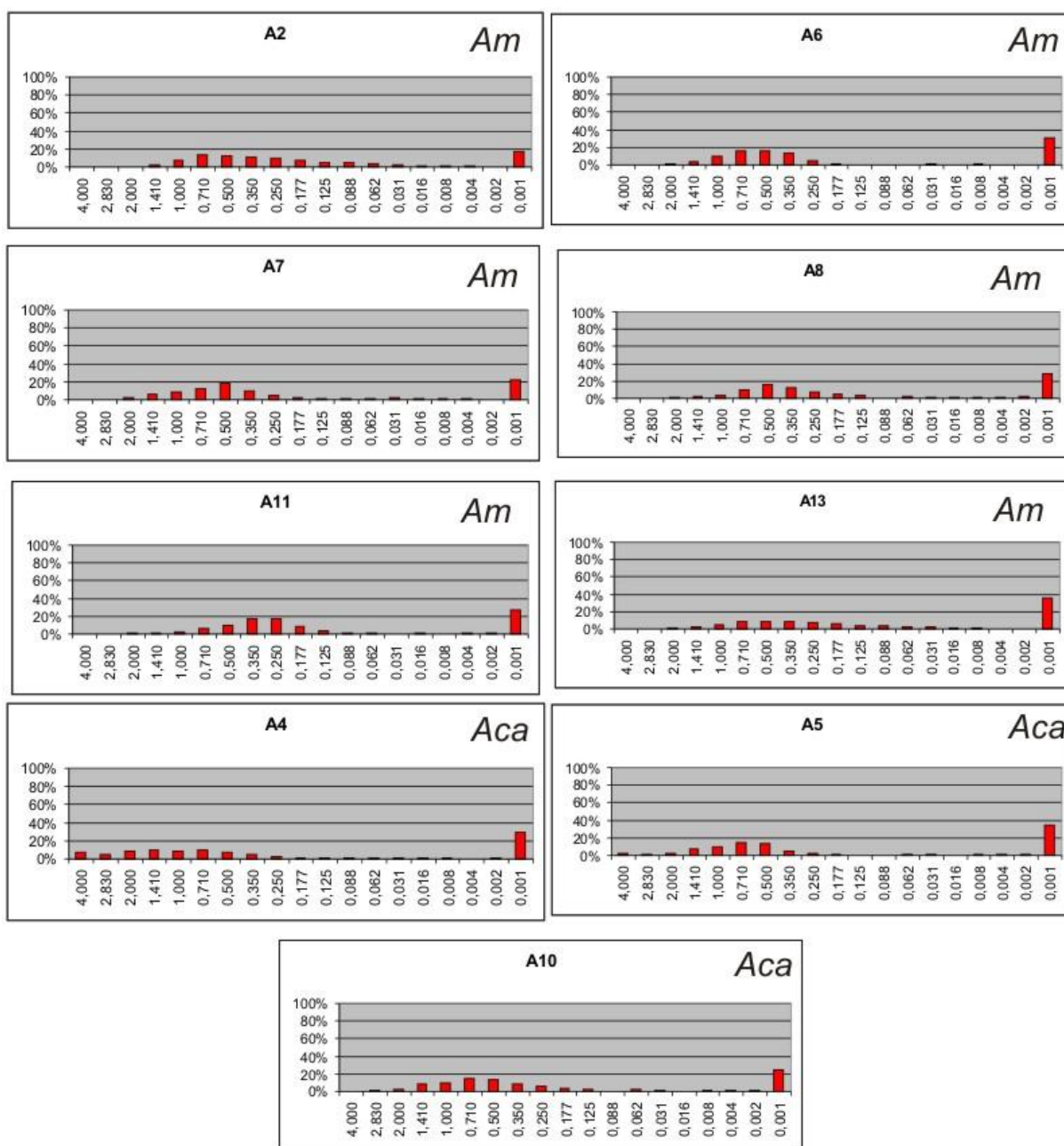


Figura 12: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies *Am* e *Aca* da Seção Córrego Sucupira.

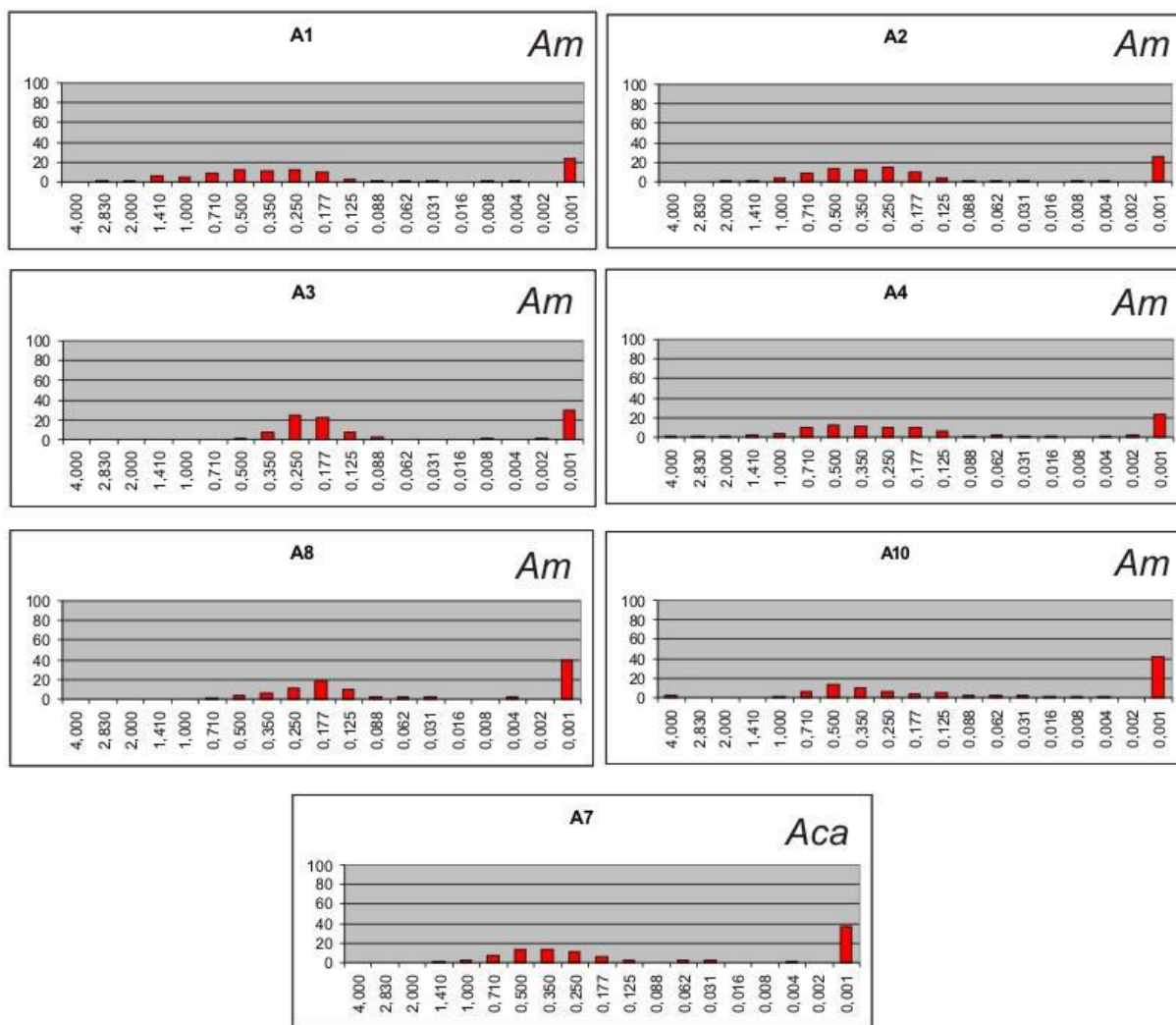


Figura 13: Histogramas das análises granulométricas relacionando a porcentagem de peso a cada tamanho granulométrico das amostras da fácies *Am* e *Aca* da Seção Barra de Itabapoana.

Tabela 2: Classificação textural das fácies identificadas.

Código	Classificação textural	Amostras Seção Córrego Sucupira	Amostras Seção Barra de Itabapoana
<i>La</i>	Argilas a argilas arenosas (43-70% de argila)	A1, A3, A9 e A12	A5, A6, A9
<i>Am</i>	Areias argilosas (19-40% de argila) a areia (18% de argila)	A2, A6, A7, A8, A11 e A13	A1, A2, A3, A4, A8 e A10
<i>Aca</i>	Areias argilosas (27% de argila) a Areias argilosas com fração conglomerática (27-41% de argila)	A4, A5, e A10	A7

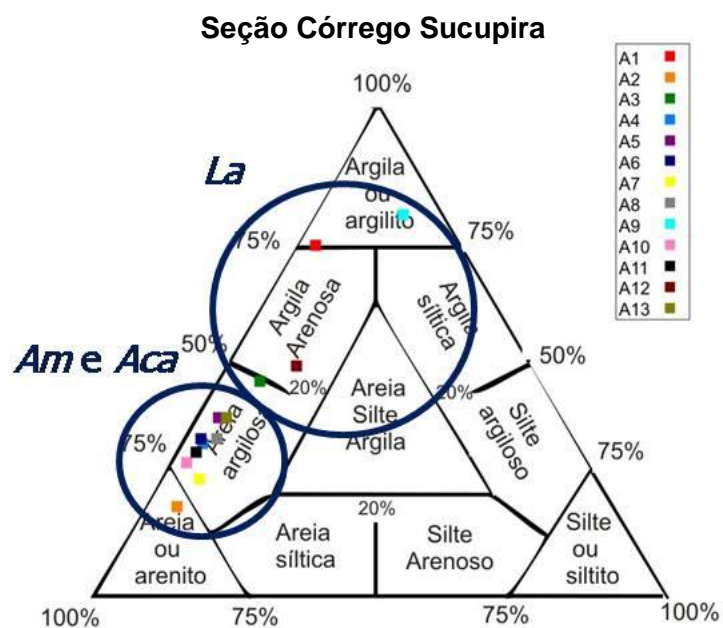


Figura 14: Distribuição no diagrama triangular de classificação textural (modelo Shepard, 1954) das amostras das fácies *La*, *Am* e *Aca* analisadas na Seção Córrego Sucupira e na Seção Barra de Itabapoana.

5.3 Análises petrográficas

5.3.1 Fácies La (Seção Córrego Sucupira – amostras A1 e A12; Seção Barra de Itabapoana – amostras A5, A6 e A9)

A fácies lamítica (*La*) possui distribuição granulométrica semelhante nas lâminas petrográficas das amostras analisadas, com predomínio da fração argilosa, variando em teor de 37,7 a 80%.

Em geral, ainda apresentam grãos de tamanho areia muito fina a areia média e, em menor proporção, de areia grossa a muito grossa, e menos de 1% de grânulos. Os grãos de areia muito fina a areia média possuem circularidade moderada e variam de subangulosos a subarredondados. Os grãos de areia grossa a grânulos são pouco a moderadamente circulares, e variam de angulosos a subarredondados. Raramente encontra-se contato entre os grãos de tamanho areia (geralmente os grãos apresentam-se flutuantes e poucas vezes há contatos pontuais) e não há uma orientação preferencial. Os grãos de areia e grânulos presentes nas camadas da fácies *La* são constituídos predominantemente por quartzo, com quantidades pouco significativas de minerais acessórios e/ou pesados, como zircão, rutilo, anfibólio, muscovita, biotita e opacos. Os grãos de quartzo são monocristalinos e muito raramente policristalinos, predominantemente com extinção ondulante. Alguns estão fraturados e outros possuem formas anômalas que parecem derivar de processo de corrosão e/ou dissolução.

Na fração argilosa, além de argila de origem deposicional, foi constatada a presença de argila infiltrada, que exibe uma organização lamelar típica, associada à orientação preferencial pronunciada dos filossilicatos, devido à origem relacionada à translocação mecânica de argilominerais (ESTAMPA A, Fotomicrografias 1, 2 e 3).

Nas amostras relativas à fácies *La*, além da recristalização da fração argilosa, foi descrito cimento composto por óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, estando o Mn associado ou não a MOA (matéria orgânica amorfa). O cimento por óxidos e hidróxidos de ferro e manganês tinge as lamelas de infiltração de argila, indicando serem estas anteriores (ESTAMPA A, Fotomicrografias 1 e 3).

Quanto ao modo de ocorrência do cimento por óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, foi observado que:

- a cimentação por goethita, distinta por sua coloração preferencialmente amarelada sob luz plano-polarizada, ocorre tingindo a fração argilosa, em forma de revestimentos (*coatings*) em torno de alguns grãos quartzosos, e próximo às bordas ou preenchendo o interior dos poros;
- a hematita, tipicamente de cor avermelhada sob luz plano-polarizada, pode ser vista precipitada adjacente à borda de alguns poros, sendo que alguns desses vazios ocorrem

preenchidos por manganês e MOA; também ocorre preenchendo alguns poros de encolhimento, como *coatings* revestindo parcialmente alguns grãos quartzosos, preenchendo parcialmente as fraturas de alguns clastos, e também na forma de nódulos ou pontuações amorfas de impregnação muito forte e distribuição aleatória, tingindo a argila (ESTAMPA A, Fotomicrografias 1, 3, 4 e 5);

- a associação de manganês e MOA ocorre quase sempre como revestimento de microagregados, impregnando os limites dos poros criados pelo encolhimento da argila; pode ser observada como impregnações pontuais, distribuídas aleatoriamente na argila e, em menor proporção, preenchendo parcialmente as fraturas de poucos grãos quartzosos fragmentados ou recobrimdo parcialmente grãos de quartzo, como *coatings* (ESTAMPA A, Fotomicrografia 12).

A porosidade descrita nas lâminas foi produzida preferencialmente por mecanismos pós-deposicionais. Em geral, pode-se caracterizar a porosidade dessas amostras como muito baixa. Na maioria das amostras a porosidade está relacionada principalmente a poros planares (poros de encolhimento), que ocorrem localmente bem conectados e derivam da alternância de ciclos de ressacamento/encharcamento da fração argilosa (ESTAMPA A, Fotomicrografias 1 e 2). Esta porosidade está relacionada à presença de materiais que, quando submetidos à pedogênese, tendem a se organizar em forma de agregados ou grumos, levando a formação de *peds* (ESTAMPA A, Fotomicrografia 4). Quando tais poros apresentaram tamanho menor foram descritos como microporos de encolhimento.

Com distribuição mais aleatória e menos frequente, há a microporosidade móldica de grãos de pseudomorfos, que foram preferencialmente alterados por terem sido mais instáveis.

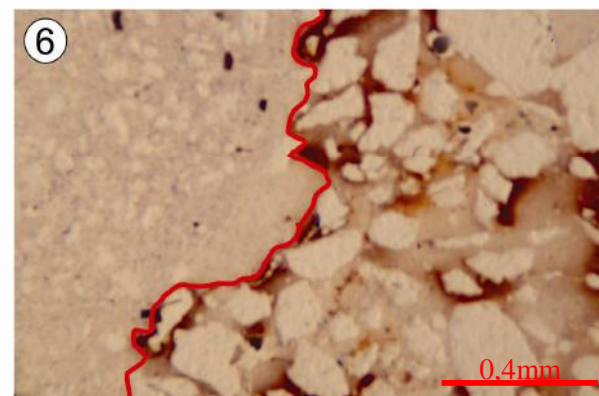
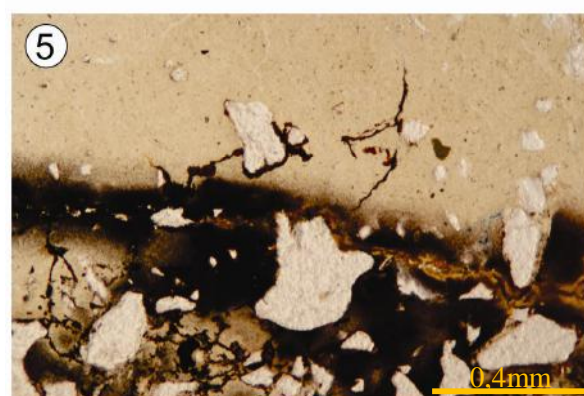
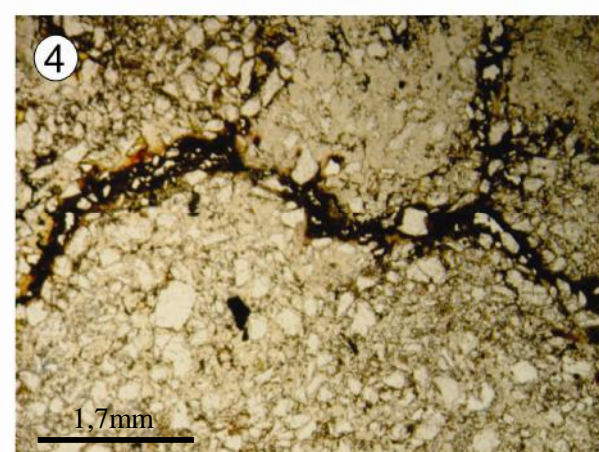
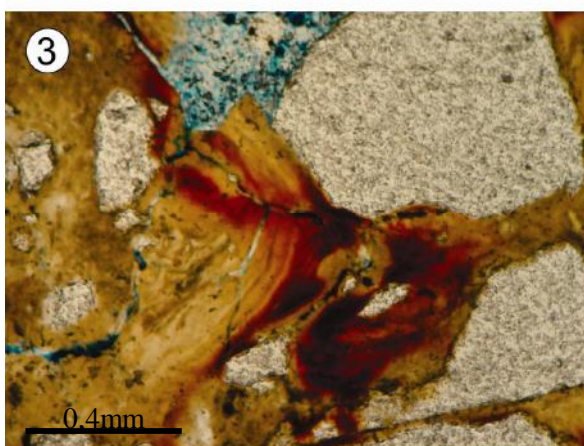
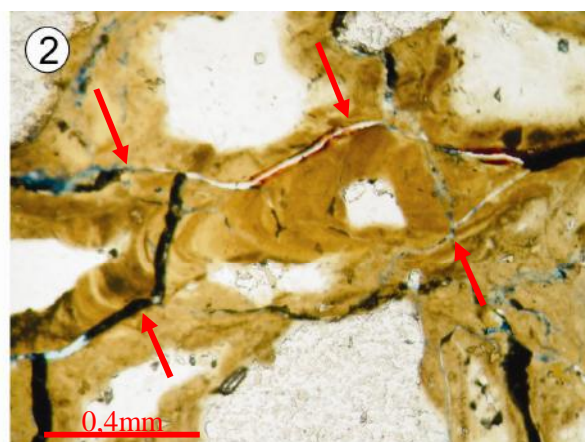
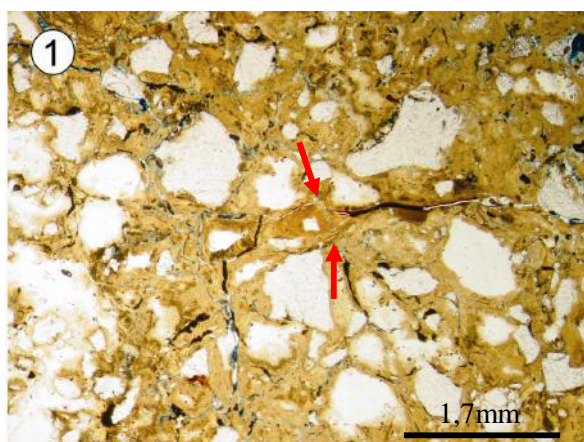
O terceiro tipo de porosidade observado está relacionado ao fraturamento de poucos dos grãos quartzosos. Este tipo, observado apenas na Seção Barra de Itabapoana, ocorre de forma pouco expressiva e aparentemente é o único tipo com gênese primária. Algumas dessas fraturas estão parcialmente preenchidas por cimento constituído por óxidos.

Nas lâminas petrográficas das amostras da fácies La foram identificadas diversas feições com características de origem pedogenética, tais como:

- estruturas de contração e expansão, associadas a evidências de orientação das argilas conforme se alternam ciclos de encharcamento/ressacamento do material argiloso, sendo tal orientação mais forte próxima ao poro planar;
- nódulos com forte impregnação de ferro, que tingem a fração argilosa presente em torno de um poro, representando um local mais aerado em relação ao demais, tornando possível a oxidação do ferro;

- estruturas de bioturbação, distribuídas heterogeneamente e marcadas por forte contraste granulométrico, onde se observa ocorrência de material mais pobremente selecionado ou de maior granulometria (silte a areia muito grossa) do que o material que foi originalmente depositado (silte a areia muito fina) - ESTAMPA A, Fotomicrografias 5 e 6. Estas estruturas também condicionam uma cimentação diferenciada, mais intensa (ESTAMPA A, Fotomicrografia 5);
- feições similares a pedotúbulos, tendo suas características destacadas pelo alto grau de tingimento por óxidos/hidróxidos de ferro.

Estampa A – Fácies *La*



Estampa A – Fácies *La*

Fotomicrografia 1- Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Destaca-se uma feição de preenchimento de poro por argila infiltrada (indicada pelas setas) e a porosidade por encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 2 - Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Detalhe da feição de preenchimento (indicada pelas setas) apresentada na Fotomicrografia 1. Cimento de hematita pode ser observado na borda de alguns poros (cor avermelhada), sendo que alguns desses espaços ocorrem preenchidos por manganês e MOA (cores escuras). A precipitação de óxidos de ferro e manganês ocorreu após a infiltração e encolhimento (com o desenvolvimento de poros planares) da argila. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 3 - Amostra A1 da Seção Córrego Sucupira. Ao centro da foto, há evidências da infiltração mecânica de argila, sendo ressaltada pela cimentação por hematita. Na parte superior da foto, há registro de microporosidade móldica em grão de pseudomorfo (ressaltada pelo corante azul). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 4 - Amostra A12 da Seção Córrego Sucupira. Podem ser observados poros planares interconectados com forte cimentação por óxidos, que retratam o desenvolvimento de microagregados revestidos ou limitados por regiões com maior oferta de oxigênio. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 5 - Amostra A5/6 da Seção Barra de Itabapoana. Variação granulométrica relacionada à atividade de organismos (porção com maior amplitude de variação granulométrica - silte a areia muito grossa, mais pobremente selecionado do que o material que foi originalmente depositado - silte a areia muito fina). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 6 - Amostra A9 da Seção Barra de Itabapoana. Há uma clara heterogeneidade do material, relacionada a atividade de organismos, que ocorre diferentemente tingido por óxidos. Em destaque pela seta, se observa *coatings* de hematita em torno de grãos de quartzo. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

5.3.2 Fácies Am (Seção Córrego Sucupira– amostras A2 e A13; Seção Barra de Itabapoana – amostras A1, A2, A3, A4, A8, A10)

A descrição petrográfica da fácies *Am* indica a predominância das frações de areia grossa a fina, com expressiva presença de fração argilosa e, subordinadamente, silte e grânulos. São sedimentos com seleção moderada a pobre, por suas distribuições granulométricas desde argila a grânulo. Os grãos mais grossos, de areia grossa a grânulos, são angulosos a subarredondados, variando de pouco a moderadamente circulares. Já os grãos mais finos, de silte a areia média, são angulosos a subarredondados, sendo em geral moderadamente circulares a circulares.

Os grãos da fração areia não apresentam nenhuma orientação preferencial, dispondo-se de forma aleatória. A presença abundante de material argiloso entre os grãos faz com que dificilmente se observe contato entre eles, demonstrando um grau de compactação fraco, incipiente (ESTAMPA B, Fotomicrografias 7 e 8). Considera-se que havia grande quantidade de poros intergranulares nos sedimentos recém-depositados, onde houve deposição eodiagenética de argila.

O material argiloso, que nessas rochas corresponde a, pelo menos, 18% de seu volume (segundo as análises granulométricas), pode ser correlacionado tanto à alteração de feldspatos (originando caulinita) como à infiltração mecânica de argilas, que progressivamente foi preenchendo os poros primários intergranulares dos sedimentos durante a deposição e/ou posteriormente. Em quantidade variável, pode ser relacionado à bioturbação.

Mineralogicamente, os sedimentos são constituídos por quartzo, em quantidade muito superior aos demais minerais (anfíbólio, titanita, muscovita parcialmente ferruginizada, biotita, zircão, rutilo, opacos). Os grãos de quartzo são principalmente monocristalinos e raramente policristalinos, com extinção ondulante. Muitos grãos apresentam reentrâncias e, possivelmente, foram corroídos e/ou dissolvidos.

Além da recristalização da fração argilosa, há cimento por óxidos e hidróxidos de ferro (compostos por diferentes combinações de proporções de hematita e goethita, sendo atestadas pelas diferentes colorações observadas) e cimento constituído pela associação indiferenciada de manganês e MOA. O cimento de ferro ocorre impregnando a argila com diversos graus de cimentação (ESTAMPA B, Fotomicrografias 7, 8, 9, 10 e 14), podendo: impregnar preferencialmente a argila presente nas bordas de alguns poros, estando alguns desses poros preenchidos pela associação manganês e MOA; ser observado como precipitados tingindo outras porções da fração argilosa; e, mais restritamente, ocorrer como *coatings* de ferro

revestindo grãos de quartzo parcialmente. Pelas estruturas exibidas de impregnação incompleta de cutãs, parte do cimento de hematita é posterior ao encolhimento da fração argilosa, pois tinge justamente os poros gerados na fragmentação da argila que foi anteriormente infiltrada.

A cimentação exercida pela associação manganês e MOA ocorre em quantidade por vezes pouco significativa e está habitualmente revestindo parcialmente a completamente os poros, poucas vezes está presente como *coatings* recobrando parcialmente alguns grãos de quartzo, e ainda pode ser observada impregnando a argila de forma pontual e, menos comumente, preenchendo uma porção restrita das fraturas dos grãos quartzosos.

A porosidade verificada nas lâminas geralmente tem gênese secundária, exceto pela porosidade por fratura em grãos, e foi encontrada das seguintes formas principais:

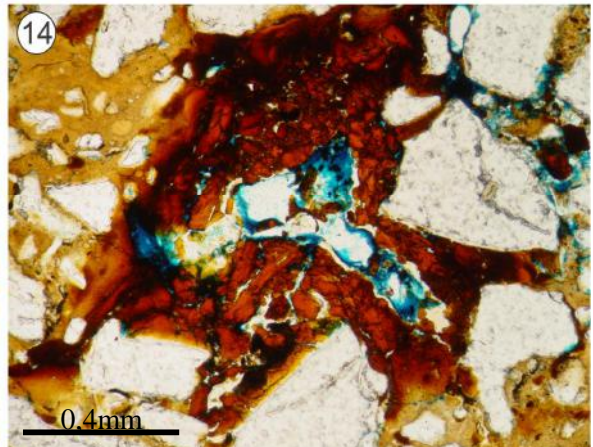
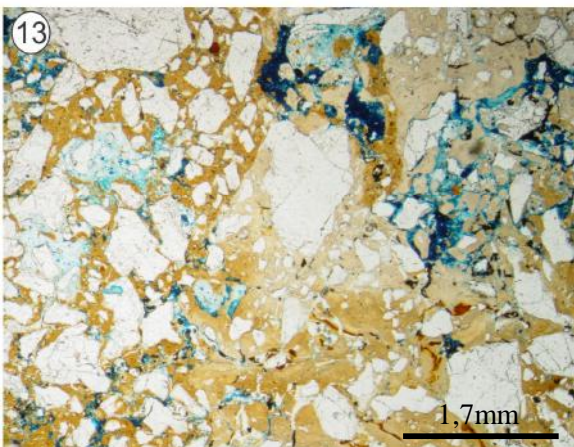
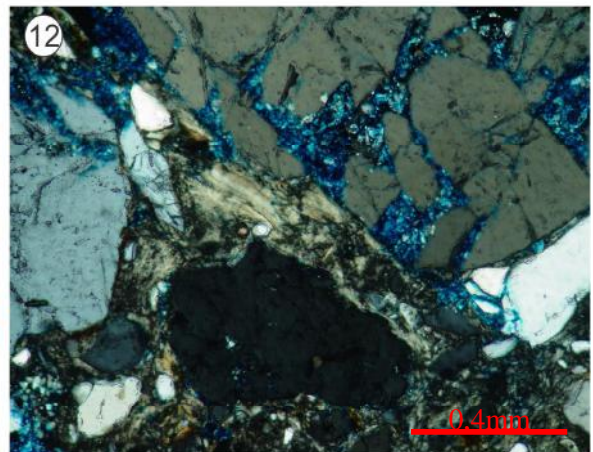
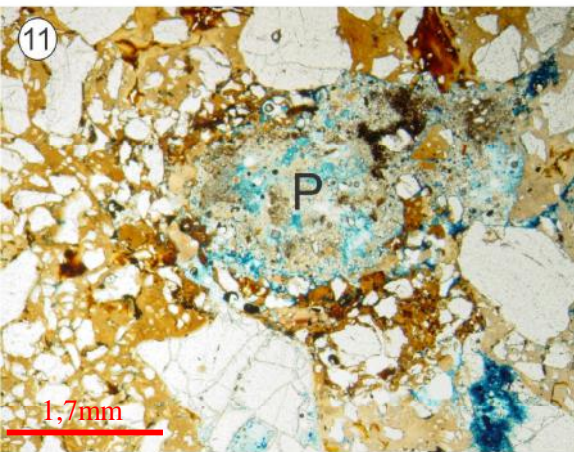
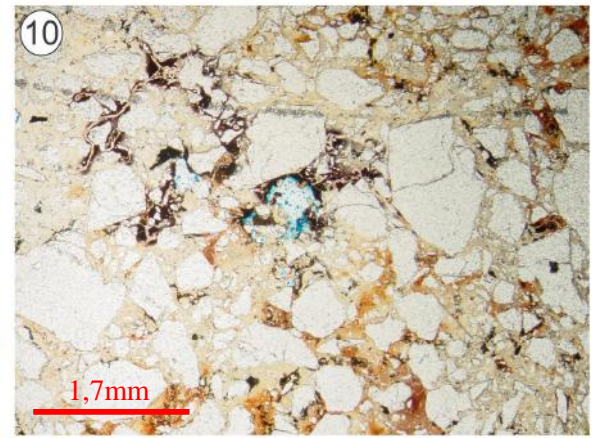
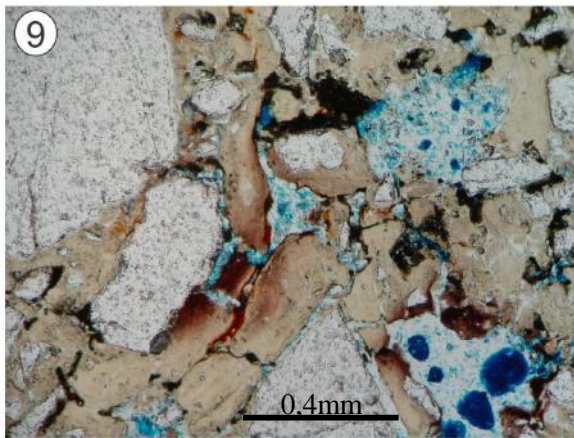
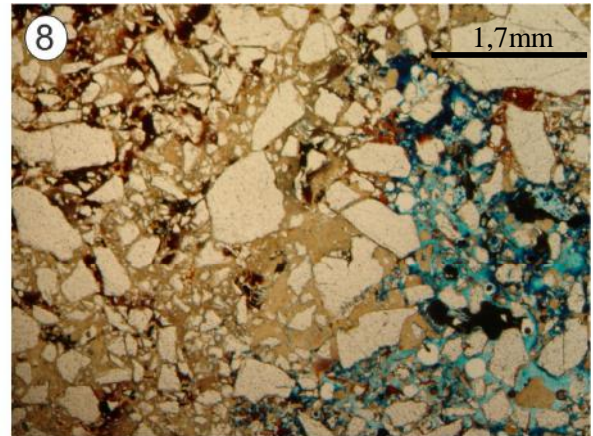
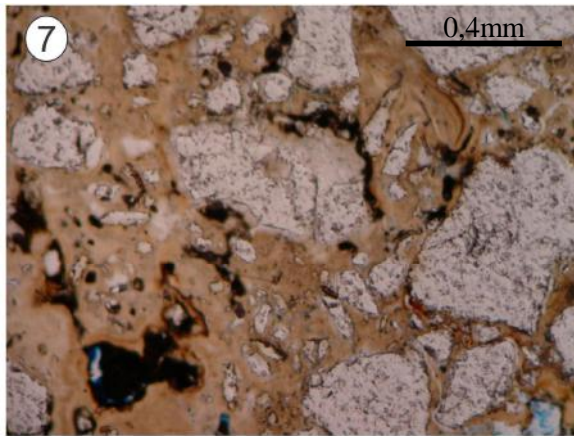
- porosidade derivada do encolhimento do material argiloso, predominante, produzida durante ciclos alternados e sucessivos de ressecamento e umedecimento desse material. Ocorre localmente bem conectada, havendo porções em que foi preenchida por óxidos e hidróxidos de ferro e manganês (associado a MOA);
- porosidade móldica e microporosidade móldica (poros criados são menores), associada a pseudomorfos com elevado estado de alteração, não sendo possível sua identificação. Ocorrem ocasionalmente sendo substituídos por cimento composto por ferro ou manganês associado a MOA (ESTAMPA B, Fotomicrografias 9 e 11);
- porosidade do tipo fratura em grãos quartzosos, com distribuição bem localizada em geral (ESTAMPA B, Fotomicrografia 12);
- porosidade intergranular, sendo essa classificação uma tentativa de caracterizar os poros com características semelhantes aos poros comumente descritos como intergranulares na literatura, tratando-se de porções bem restritas de porosidade muito elevada, registrando a reorganização textural possivelmente por atuação de organismos (ESTAMPA B, Fotomicrografia 8).

A análise das lâminas mostra que as camadas são compostas por material texturalmente heterogêneo, evidenciando certo grau de reorganização da textura deposicional das camadas por processos pedogenéticos a partir de sua deposição. Como consequência diretamente associada à presença desse material heterogêneo, pode-se observar cimentação e porosidade com distribuição igualmente diferenciada.

A ordem dos eventos que foi possível de se inferir a partir da análise das lâminas das amostras referentes à fácies *Am* foi: 1. infiltração de argila concomitante e/ou posterior à sedimentação; 2. encolhimento da argila durante ciclos alternados de ressecamento/expansão do material argiloso; 3. cimentação por óxidos e hidróxidos de ferro e manganês (associado a MOA); 4. bioturbação dos sedimentos, produzindo porosidade intergranular peculiar. Esse

evento foi posicionado posteriormente à fase de cimentação, pois os fragmentos de argila que evidenciam o retrabalhamento da camada associado à atividade de organismos ocorrem tingidos por óxidos e tal tingimento não prossegue em direção aos poros, sugerindo que a fase de cimentação foi anterior ao retrabalhamento.

Estampa B – Fácies *Am*



Estampa B – Fácies *Am*

Fotomicrografia 7 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. A cimentação pela associação manganês e MOA ocorre habitualmente revestindo parcialmente a completamente os poros secundários, criados pelo encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 8 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade intergranular, caracterizando porções bem restritas de porosidade mais elevada, relacionada a atividade de organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 9 - Amostra A2 da Seção Córrego Sucupira. Pode ser observada a cimentação por óxido de ferro, impregnando a argila preferencialmente nas bordas de alguns poros, e por óxido de manganês, preenchendo alguns dos poros criados pelo encolhimento da argila. Pode se ressaltar ainda a presença de microporosidade móldica derivada da alteração preferencial de grãos de pseudomorfos (instáveis), sendo essa porosidade destacada pelo corante azul. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 10 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Distribuição dos óxidos e hidróxidos de ferro (compostos por diferentes combinações de proporções de hematita e goethita), ocorrendo impregnando a argila com diversos graus de cimentação, podendo impregnar preferencialmente a argila presente nas bordas de alguns poros. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 11 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Observa-se microporosidade móldica relacionada à alteração de um grão de pseudomorfo (P). Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 12 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Há porosidade por fratura em grãos de quartzo. Lentes polarizadoras cruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 13 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Distribuição heterogênea do tingimento por cimento (dominantemente de goethita), podendo representar um material com algum grau de retrabalhamento por atividade de organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 14 - Amostra A13 da Seção Córrego Sucupira. Ao centro da foto, se observa um poro de encolhimento, possivelmente gerado posteriormente à cimentação por não ocorrer igualmente impregnado. A porção argilosa está impregnada preferencialmente por hematita e, mais próximo à margem do poro, há maior concentração de hematita. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

5.3.3 Fácies Aca (Seção Córrego Sucupira – amostras A4 e A5; Seção Barra de Itabapoana – amostra A7)

A descrição petrográfica da fácies *Aca* indicou granulometria variando de areia média a muito grossa e, mais raramente, de areia muito fina a areia muito grossa, apresentando alto teor de argila (entre 28 e 39%) e alguns grânulos. Esta fácies pode ser classificada como moderadamente a bem selecionada, sendo o alto teor de material argiloso atribuído a uma origem pós-deposicional, podendo ser correlacionado à infiltração mecânica de argilas e/ou à alteração de feldspatos.

Os grãos de areia média a grossa são moderadamente circulares, subarredondados a subangulosos, sendo alguns muito angulosos. Já os de areia muito fina a areia média são pouco a moderadamente circulares, angulosos a subarredondados. Os grânulos são subarredondados e moderadamente circulares. Devido à grande proporção de material argiloso, os grãos raramente estão em contato. Embora provavelmente o grau de compactação dessas rochas deve ter sido fraco, foram observadas poucas micas dobradas. Os grãos não apresentam orientação preferencial.

Os grãos tamanho areia são principalmente compostos por quartzo e subordinadamente por minerais acessórios (como muscovita, biotita, anfibólio, opacos, rutilo e zircão). Os grãos de quartzo habitualmente são de quartzo monocristalino, raramente policristalino. Muitos desses grãos possuem extinção ondulante. Alguns grãos estão fraturados e/ou apresentam reentrâncias, possivelmente derivadas de dissolução e/ou corrosão.

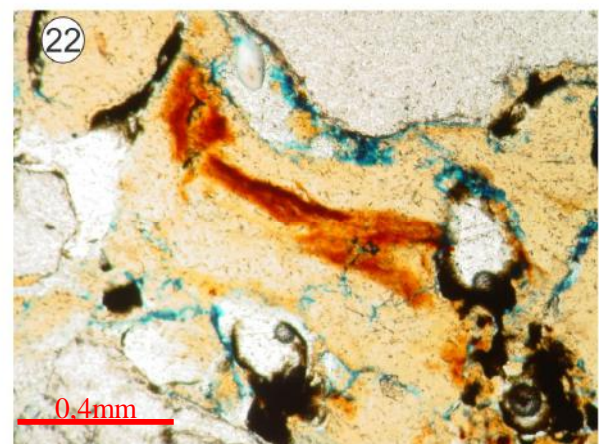
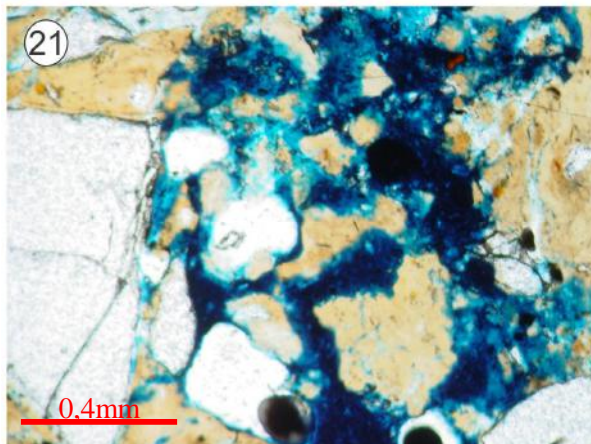
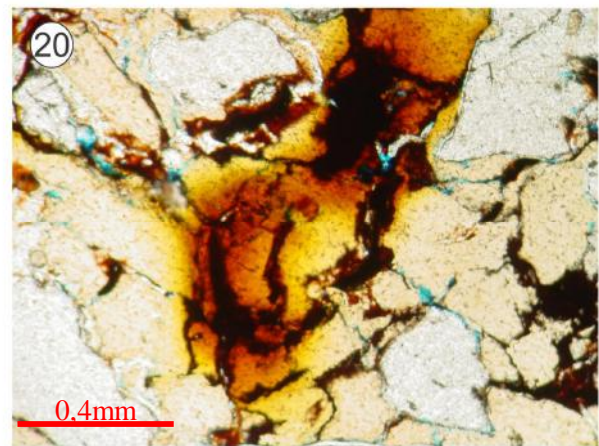
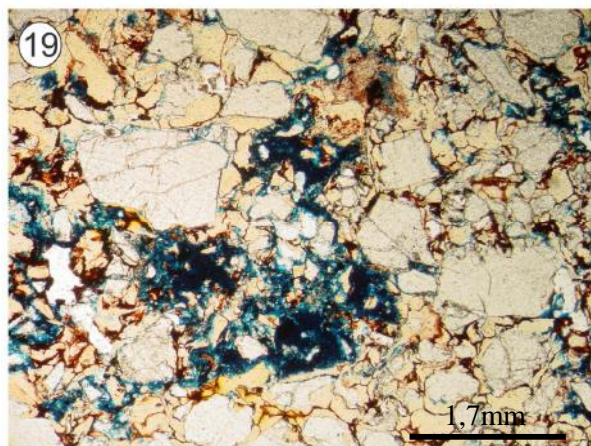
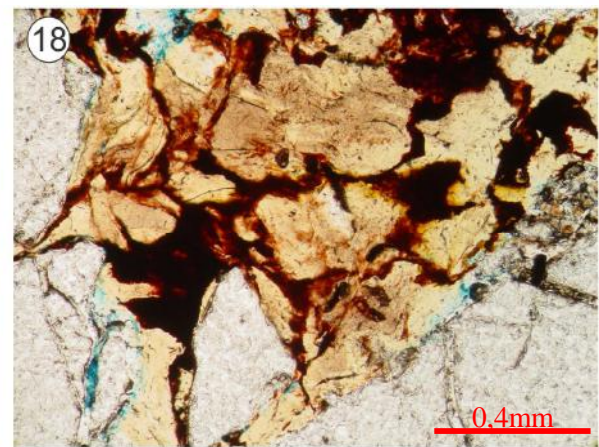
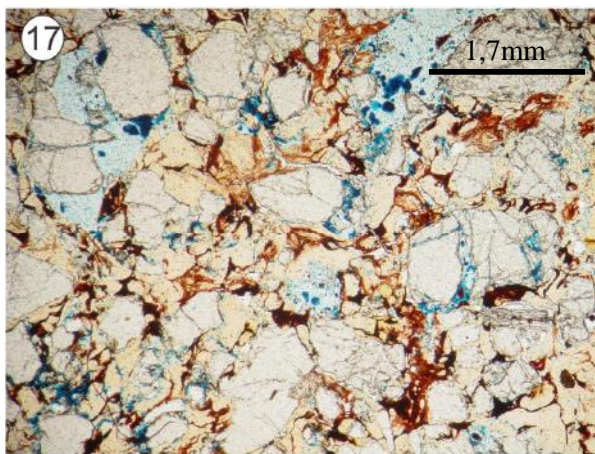
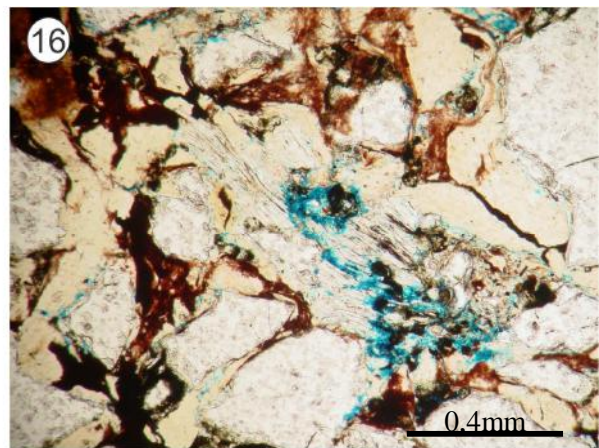
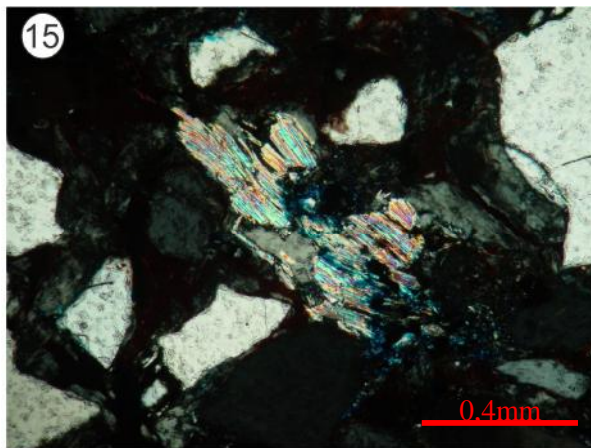
Como nas demais fácies, a cimentação está associada à recristalização da fração argilosa e a cimentos compostos por óxidos e hidróxidos de ferro e manganês (com MOA associada). O cimento constituído por óxidos e hidróxidos de ferro possui composição tipicamente de hematita ou goethita, com ocorrência sempre associada à argila infiltrada (ESTAMPA C, Fotomicrografias 18, 20 e 22), tingindo-a, impregnando várias vezes as porções argilosas preferencialmente presentes próximo às bordas dos poros, tendo sido verificada a seguinte relação: impregnação predominantemente de goethita ou hematita tingindo a borda desses poros ou a porção argilosa, e de manganês e MOA ou hematita, menos representativa, preenchendo de forma especialmente significativa o interior dos poros. Há casos em que os poros não se encontram preenchidos, podendo evidenciar uma fase de encolhimento da argila concomitante e/ou posterior à cimentação (ESTAMPA C, Fotomicrografia 19). A hematita ainda é observada substituindo partículas instáveis alteradas (fragmento lítico e grão de muscovita). E, em casos raros, alguns dos grãos quartzosos ocorrem recobertos por *coatings* de hematita.

As porosidades descritas são majoritariamente de origem secundária, sendo habitualmente dos seguintes tipos:

- porosidade como consequência do encolhimento da fração argilosa, gerada em ciclos alternados de expansão e contração do material argiloso, em fases de maior ou menor saturação dos sedimentos por água. Esses poros encontram-se, por vezes, cimentados por hematita, diminuindo a relevância dessa porosidade em algumas amostras. Há casos em que esse tipo de porosidade ocorre distribuída de forma heterogênea, diretamente dependente do grau de cimentação por hematita e goethita, estando localmente bem conectada nas porções não cimentadas;
- porosidade por fratura em grãos quartzosos (ESTAMPA C, Fotomicrografia 17), sendo o único tipo de porosidade primária das amostras. Bem mais raramente é observado fraturamento preferencial de grãos de quartzo policristalino, no contato entre os seus subgrãos;
- microporosidade e porosidade móldica, derivadas da alteração de pseudomorfos e minerais instáveis (muscovita) (ESTAMPA C, Fotomicrografias 15, 16 e 17);
- em porções restritas apenas da lâmina A5 (Seção Córrego Sucupira), há uma porosidade bem expressiva, podendo ser descrita como intergranular, quando analogamente comparada aos tipos descritos na literatura. Porém, nesse caso, tem gênese secundária, possivelmente associada à atuação de organismos. Vale ressaltar que essa porosidade mostra-se posterior tanto à infiltração de argila como à cimentação dos sedimentos, pois os fragmentos de argila ocorrem cimentados por hematita e essa impregnação não prossegue em direção ao poro, se restringindo ao fragmento argiloso (ESTAMPA C, Fotomicrografia 21).

Há porções restritas de algumas lâminas consideradas muito heterogêneas, podendo-se derivar de bioturbação: região com forma aproximadamente elíptica, com predomínio de uma granulometria predominantemente mais grossa em detrimento das áreas adjacentes; ou, com forma subarredondada tingida dominantemente por goethita, que possui granulometria semelhante a verificada na lâmina em geral, porém com grãos apresentando maior grau de empacotamento (contatos dos grãos em geral são pontuais, contrastando com os grãos habitualmente sem contatos presentes no restante da lâmina).

Estampa C – Fácies Aca



Estampa C – Fácies *Aca*

Fotomicrografia 15 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade móldica derivada da alteração de grão de muscovita. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 16 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade móldica derivada da alteração da muscovita, sendo visíveis pontos de impregnação por óxido de manganês (e MOA) posteriores à criação da porosidade. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 17 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Porosidade por fratura em grãos quartzosos e microporosidade móldica de pseudomorfos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 18 - Amostra A4 da Seção Córrego Sucupira. Intenso grau de cimentação por hematita, preenchendo poros de encolhimento da fração argilosa. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 19 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Poros encontram-se parcialmente preenchidos, podendo evidenciar uma fase de encolhimento da argila concomitante e/ou posterior à cimentação. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 2,5x.

Fotomicrografia 20 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Porção intensamente cimentada por hematita e fração argilosa próxima às margens dos poros tingida por goethita, sendo essa fase de cimentação posterior ao encolhimento dos poros. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 21 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. Em porções restritas há uma porosidade bem expressiva, intergranular, possivelmente associada ao retrabalhamento por organismos. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

Fotomicrografia 22 - Amostra A5 da Seção Córrego Sucupira. O cimento possui composição tipicamente de hematita associada a goethita, e ocorre tingindo a argila infiltrada. Há óxido de manganês (com MOA) preenchendo os poros, em fase posterior à criação de alguns poros de encolhimento observados na foto. Lentes polarizadoras descruzadas, aumento de 10x.

6. CONCLUSÕES

As características petrográficas mais relevantes nos depósitos estudados relacionam-se a aspectos de origem pós-deposicional, permitindo uma caracterização de sua evolução diagenética, envolvendo:

1. Infiltração mecânica de argilas em fase bem próxima à sedimentação;
2. Alteração de minerais primários e grãos de pseudomorfos, produzindo porosidade secundária (móldica, microporosidade). Destaca-se, especialmente, a alteração intensa de feldspatos, que podem ter sido depositados já com algum grau de alteração;
3. Modificações dos sedimentos por atividade de organismos (bioturbação), gerando o aspecto maciço comum dos estratos;
4. Encolhimento do material argiloso após sucessivos ciclos de ressecamento/expansão, gerando poros planares (os poros de encolhimento);
5. Remobilização dos elementos mais móveis (ferro e manganês associado a MOA), que passaram a preencher parte dos poros secundários, com cimentação dos depósitos por óxidos e hidróxidos de ferro (goethita e hematita) e manganês.

O grau de compactação fraco, incipiente, pode ser constatado pelos “grãos flutuantes”. Possivelmente houve mais de uma fase de cimentação e encolhimento da argila, sendo de difícil ordenamento.

De acordo com Boggs (1995), as mudanças descritas podem ser atribuídas predominantemente ao que ocorre durante a eodiagênese, fase de soterramento raso, sendo processadas no próprio ambiente deposicional. Segundo Boggs (1995), as principais mudanças que ocorrem na eodiagênese são: retrabalhamento dos sedimentos por organismos (bioturbação), fraca compactação, reempacotamento dos grãos e mudanças mineralógicas. Nesse estágio, há algumas mudanças mineralógicas importantes nos sedimentos siliciclásticos, envolvendo geralmente a precipitação de novos minerais. Reações importantes associam-se à formação de argilas e à precipitação de óxidos de ferro nos poros oxigenados.

A partir dos resultados obtidos, relativos aos dados de campo e de laboratório, pode-se determinar que a alta concentração de argila (variando de 18 a 41%) observada nas fácies *Aca* e *Am* está relacionada à alteração de feldspatos, somada à infiltração mecânica de argilas, também introduzidas por bioturbação.

Os organismos retrabalham os sedimentos na interface deposicional, ou próximo a ela, através de vários movimentos, como rastejo, escavação e ingestão dos sedimentos. A bioturbação pode destruir estruturas sedimentares primárias e criar em seu lugar registros variados, como camadas mosqueadas, tocas, pegadas e outros tipos de vestígios. Este

retrabalhamento por organismos comumente tem pouco efeito na composição mineralógica e química dos sedimentos.

A argila mecanicamente infiltrada foi introduzida nos sedimentos assim que estes foram depositados, constituindo um dos primeiros eventos pós-deposicionais. Em relação a esta infiltração, Matlack *et al.* (1989 *apud* Boggs, 1992) conclui, a partir de trabalhos experimentais, que a infiltração de lama vadosa em camadas arenosas é um mecanismo efetivo para acumulação de argila em arenitos. Sugerem que essa infiltração ocorre mais efetivamente em ambientes caracterizados por alta concentração de sedimentos em suspensão, níveis da água flutuantes e retrabalhamento mínimo de sedimentos por ondas ou correntes. Esse evento diagenético garantiu que os contatos entre os grãos fossem o mínimo possível, refletindo na predominância de grãos flutuantes e poucos contatos dos demais tipos (pontuais, longos e demais progressivamente, que indicariam compactação mais avançada). Possivelmente o grau de compactação foi realmente fraco, porém deve ser considerado que a introdução precoce de cimento argiloso minimizou esse tipo de evidência.

O aspecto predominantemente maciço dos depósitos, incluindo camadas depositadas por fluxos hidrodinâmicos trativos, se deve ao elevado grau de processos pós-deposicionais desenvolvidos a partir da sedimentação das camadas, levando a certa intensidade de reorganização textural, que obliterou, muitas vezes totalmente, as estruturas primárias dos estratos. Esta reorganização textural favoreceu, ainda, o desenvolvimento de graus distintos de cimentação e porosidade, desigualmente distribuídos.

Em escala de afloramento pode-se verificar um aspecto homogêneo de ferruginização, sugerindo que estaria associada principalmente a processos de alteração recente. Ao se analisar as lâminas petrográficas, observou-se que as oxidações não são tão abundantes e homogêneas quanto parecem e quando estão presentes associam-se quase sempre a estruturas paleopedogenéticas. O que parece ser uma ferruginização atual muito homogênea não se verifica em microescala, sendo constatada uma alternância muito grande entre camadas ou intervalos com pouca oxidação e camadas mais ferruginizadas, não podendo ser explicado através de processos de alteração recente.

Aspectos pedogenéticos presentes nos depósitos, como estruturas de revestimentos de grãos, infiltração mecânica de argila, poros planares, pedotúbulos, caracteres criptocristalinos associados à mobilidade de ferro e manganês, bem como a presença de nódulos, evidenciam a atuação importante de processos paleopedogenéticos em intervalos de quiescência deposicional.

É válido destacar que a quantidade mais expressiva de caracteres pedogenéticos é verificada nas camadas referentes à fácies La, enquanto nas fácies arenosas (fácies Am e Aca) os processos mais comumente ocorridos foram a infiltração mecânica de argilas, menor quantidade de bioturbação e posterior cimentação distribuída de acordo com as modificações texturais derivadas da reorganização textural dos estratos produzida por organismos. Esse diferente grau de desenvolvimento pedogenético é claramente explicado pela deposição das camadas lamosas em locais de maior quiescência deposicional do sistema fluvial, permitindo mais intensa atuação das alterações pedogenéticas, em detrimento dos estratos arenosos, sedimentados em porções mais canalizadas, que dificultam a atuação desses processos.

A atividade biológica é mais presente em áreas com grande oferta de oxigênio, improváveis abaixo do lençol freático (Garcindo, 2009), evidenciando em que condições foram produzidos os registros de bioturbação.

A presença de poros planares deriva de processos de expansão e contração, indicando desenvolvimento pedogenético causado por sucessivos ciclos de encharcamento (expansão) e ressecamento (contração), sendo mais comuns em camadas mais argilosas (Garcindo, 2009). As estruturas de expansão e contração se desenvolvem durante dezenas a centenas de anos, dependendo da textura, quantidade de argila e estrutura do sedimento. As estruturas formadas por esses poros planares são típicas de desenvolvimento de pedalidade, sendo relacionadas a alterações da zona vadosa (superficiais).

O principal tipo de porosidade observado é de origem secundária, sendo produto dos seguintes processos: bioturbação, alteração de minerais primários, alternância do ressecamento e encharcamento das argilas, que leva a sua fragmentação.

Assim como Costa (2010), pode-se concluir que, apesar de os depósitos estudados apresentarem alguns fatores positivos para sua caracterização como reservatórios, entre eles uma boa conexão entre os estratos arenosos e valores de porosidade moderada, o elevado teor de fração argilosa, o grau variável de cimentação e a porosidade variável e de origem secundária, com os poros distribuídos de forma aleatória e com baixa conectividade, restringem a qualidade das rochas como reservatórios. Tais observações podem explicar as baixas vazões associadas ao aquífero Barreiras na região norte-fluminense (Costa, 2010) e a produção de águas ferruginosas.

Referências Bibliográficas

- Barreto, A. B. C.; Monsores, A. L. M.; Leal, A. de S. & Pimentel, J. 2001. *Projeto Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental*. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos.
- Beard, D.C. & Weyl, P. K. 1973. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57: 349-369
- Boggs Jr., S. 1992. *Petrology of Sedimentary Rocks*. The Blackburn Press, Caldwell. 707 p.
- Boggs, S. Jr., 1995. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, Second Edition. Prentice-Hall: Englewood Cliffs. 774p.
- Costa, M. C. O. 2010. *Caracterização integrada de aspectos sedimentares e hidráulicos do aquífero Barreiras na porção emersa da Bacia de Campos, Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 83 p.
- Dickinson, W. R. 1970. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, 40(2): 695-707
- Folk, R. L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphil Publ. Co. 184 p.
- Garcindo, L. B. 2009. *Análise paleopedológica da Formação Resende nas Bacias de Resende e Volta Redonda, RJ e suas implicações paleodeposicionais*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Heilbron, M. & Machado, N., 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*. 125: 87-112.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trouw, R.A.J. & Janasi, V. A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. (eds.) *Geologia do Continente Sul- Americano: Evolução da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. São Paulo, Editora Beca, 2004 p. 203-236
- Martin, L.; Suguio, K.; Dominguez, J. M. L. & Flexor, J-M. 1997. *Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. Belo Horizonte: CPRM. Mapas. 112p.
- Morais, R. M. O. 2001. *Estudo Faciológico da Formação Barreiras na Região entre Maricá e Barra de Itabapoana, Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 113 p.
- Morais, R. M. O.; Mello, C. L. ; Costa, F. O. & Santos, P. F. 2006. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, 6(2): 19-30.

- Powers, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23:117-119
- Rittenhouse, G. & Gordon, C. 1943. Measuring intercept sphericity of sand grains. *American Journal Science*, 241: 109-116
- Schmidt, V. & McDonald, D. A. 1979. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: Scholle, P. A. & Schluger, P. R. *Aspects of diagenesis*. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. 26: 175-207. (SEPM Special Publication).
- Shanmugan, G. 1984. Types of porosity in sandstones and their significance in interpreting provenance. In: Zuffa, G. G. *Provenance of Arenites*. Italy: D. Reidel Publishing Company, v.148, p. 115-137. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151-158.
- Silva, L. C. & Cunha, H. C. S. 2001. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM. CD-ROM.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Duarte, B. P.; Nogueira, J.R.; Valladares, C.; Almeida, J.; Silva, L.G.E.; Medeiros, S.R., Almeida, C.G.A.; Miranda, A.; Ragatky, C.D.; Mendes, J. & Ludka, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e conexões com a Faixa Araçuaí in Geonomos: *Revista de Geociências*. 15(1): 67-79.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, 30: 377-392
- Winter, W. R.; Jahnert, R.J. & França, A. B. 2007. Geologia da Bacia sedimentar de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. 15(2): 511-529
- Zuffa, G. G. 1984. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: *Provenance of Arenites*. Italy: D. Reidel Publishing Company, 148: 165-189. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).